

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Os Desafios da Mobilidade Elétrica em Portugal num Contexto de Cidades Inteligentes

Manuel João Martins Fraga

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

**Orientador: Prof. Doutor João Paulo Catalão
Co-orientador: Doutor Radu Godina**

22 de Janeiro de 2018

© Manuel João Fraga, 2018

Resumo

Atualmente é cada vez mais perceptível de que os veículos do futuro serão elétricos. De fato, o tema da mobilidade elétrica ganhou força na agenda da sociedade civil e dos governantes. As razões são bastante conhecidas: emissões de vários poluentes nocivos e tóxicos, emissões de dióxido de carbono (CO₂) que provocam aquecimento global e outros problemas relacionados à poluição. Como tal, ações drásticas serão necessárias, especialmente na área de transporte, responsável por 23% das emissões de todo o planeta - com tendência a chegar a 50% em 2050 se nada for feito nos próximos anos.

O conceito de cidades inteligentes surgiu recentemente na literatura académica e na agenda das políticas públicas. Atualmente encontram-se em conceção e implementação diversos projetos a nível mundial com o intuito de usar as tecnologias de informação e comunicação para facilitar a vida urbana.

O objetivo deste trabalho é contribuir com uma iniciativa nas áreas da Energia e da Mobilidade, com o fim de elaborar um estudo sobre a mobilidade elétrica em Portugal e os seus desafios num contexto de cidades inteligentes. Para além de fazer um diagnóstico do ecossistema deste sector em Portugal este estudo propõe um conjunto de orientações estratégicas para o desenvolvimento da mobilidade elétrica no País. Irá, assim sendo, ser proposto um *framework* geral onde todo este ecossistema irá operar como pano de fundo das cidades inteligentes. Vários cenários serão apresentados. Por fim, irá expor os resultados integrados e por dimensão da análise efetuada, terminando com algumas recomendações para as cidades portuguesas, assim como com as perspetivas de trabalho futuro.

Abstract

It is becoming more and more apparent that the vehicles of the future will be electric. In fact, this issue of electric mobility has gained momentum in the agenda of civil society, researchers and policy makers. The reasons are well known: emissions of various harmful and toxic pollutants, carbon dioxide (CO₂) emissions that cause global warming and other problems related to pollution. Consequently, drastic action will be needed, especially in the area of transportation, which accounts for 23% of emissions across the globe - with a tendency to reach 50% by 2050 if nothing is done in the years to come.

The concept of smart cities has recently appeared in academic literature and in the public policy agenda. At present, various projects are being designed and implemented worldwide with the aim of using information and communication technologies in order to facilitate the urban environment.

The objective of this work is to contribute with an initiative in the areas of Energy and Mobility, with the purpose of elaborating a study on the electric mobility in Portugal and its challenges in a context of smart cities. In addition to making a diagnosis of the ecosystem of this sector in Portugal, this study proposes a set of strategic guidelines for the development of electric mobility in the country. A general framework will therefore be proposed where this entire ecosystem will operate as a background for smart cities. Several scenarios will be presented. Finally, the combined results will be presented and result analysis carried out, ending with some recommendations for Portuguese cities, as well as future work prospects.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor João Catalão por todos os ensinamentos e pela oportunidade de realizar esta dissertação.

Ao excelente profissional que é o Doutor Radu Godina, pela excelência de todos os ensinamentos que me transmitiu. Pela constante preocupação e toda a ajuda, sem a qual não teria sido possível realizar este trabalho.

Aos meus pais, pela incompreensível paciência, por sempre me terem dado todas as condições que não tiveram. Todos os dias me sinto um afortunado por vos ter. Almejo um dia ser assim tão bondoso. Obrigado por manterem o meu coração quentinho.

Às minhas irmãs, a Ana por estar sempre, incondicionalmente, pronta para me ajudar. E pelo dom de me chamar à razão com o seu coração mole. Devias ter equivalência a engenharia. À Inês, um génio, que me obriga a estimular a esperteza para a conseguir acompanhar. Por ter um coração tão puro e por estar ao meu lado, a defender-me e a ajudar-me quando realmente importa.

Ao meu avô, exemplo de trabalho e humildade.

Aos meus Bastos, Bilo, Chico, Rafa, Tavares, Wilson e Xoto. Por vezes na nossa vida temos a sorte de nos cruzar com pessoas boas, generosas, genuínas e talentosas, eu tenho a sorte de vos ter como companheiros de todos os dias.

A todos os meus amigos de sempre, do m91, obrigado por sempre terem feito parte da minha vida.

Ao Perestrelo, Xinobi, Joaozinho, Miguel, Diogo, Guima, Stalone, Fafe, e a todos os amigos que fiz ao longo destes belos anos na Faculdade, na AEFEUP e na equipa de Rugby, o meu muito obrigado por terem feito parte desta jornada.

Ao Balu, pela vontade insaciável de me mimar e me fazer feliz. Por me ensinar que a felicidade está nas pequenas coisas.

“Nobody exists on purpose. Nobody belongs anywhere. Everybody’s gonna die.
Come watch TV”

- Morty Smith

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Objetivos	3
1.3 - Estrutura da Dissertação.....	3
1.4 - Notação.....	4
Capítulo 2	5
Revisão Crítica da Literatura	5
2.1 - Alterações climáticas.....	5
2.2 - Energias renováveis	10
2.2.1 - Recursos energéticos distribuídos	15
2.2.2 - Energia Eólica e Solar em Portugal.....	16
2.3 - Cidades Inteligentes.....	17
2.3.1 - Porto.....	20
Capítulo 3	22
Veículos Elétricos	22
3.1 - História dos veículos elétricos.....	23
3.2 - Veículos elétricos no presente	24
3.2 - Baterias dos veículos elétricos	27
3.3 - Carregamentos	29
3.3.1 - Carregamentos em Instalações domésticas	30
3.3.2 - Carregamentos no local de trabalho	30
3.3.3 - Postos de carregamento em Portugal.....	31
3.4 - Tecnologia V2G.....	31

3.5 - Impacto na rede	33
3.6 - Metas e desafios	34
Capítulo 4	35
Descrição do Modelo	35
4.1 - Figuras dos dados recolhidos	38
4.1.1 - Dados obtidos no dia 2 de Fevereiro de 2017	38
4.1.2 - Dados recolhidos no dia 14 de Julho de 2017	39
4.1.3 - Evolução do estado de carga das baterias	40
Capítulo 5	42
Análise de resultados	42
5.1 - Resultados obtidos para o dia 2 de Fevereiro de 2017	43
5.2 - Resultados obtidos para o dia 14 de Julho de 2017	47
5.3 - Comparação dos resultados	51
Capítulo 6	53
Conclusões	53
6.1 - Conclusões	53
6.2 - Trabalhos Futuros.....	55
Referências	56

Lista de figuras

Figura 1.1 - Consumo mundial de eletricidade em TWh, entre 1971 e 2015 por fonte [2].....	2
Figura 2.1 - O papel dos Gases de Efeito de Estufa [11].....	6
Figura 2.2 - Evolução da concentração atmosférica de CO ₂ [12].....	7
Figura 2.3 - Quota de percentagem de Gases Efeito de Estufa, 2014. (*Outros pode incluir queima de biomassa em grande escala, deterioração pós-queima, emissões indiretas de N ₂ O de proveniente de emissões não agrícolas de NO ₂ e NH ₂ , resíduos e solventes) [2].....	7
Figura 2.4 - Emissão de CO ₂ por setor de consumo energético a nível mundial [2]	8
Figura 2.5 - Perfil térmico numa cidade, em que é evidenciada uma ilha de calor urbana [11].....	9
Figura 2.6 - Exemplos de Energias renováveis [27]	11
Figura 2.7 - Evolução da Produção de Energias Renováveis gerados em Portugal [30]	12
Figura 2.8 - Produção de Energia Renovável discriminado por país [30].....	14
Figura 2.9 - Distribuição das fontes de energia renovável em Portugal [34].....	16
Figura 2.10 - Consumo e produção de energia eólica [34]	17
Figura 2.11 - Smart city [47].....	19
Figura 2.12 - Freguesias do concelho do Porto [48]	20
Figura 2.13 - Condições que tornam o Porto uma cidade inteligente [50]	21
Figura 3.1 - Evolução da utilização mundial de veículos elétricos	25
Figura 3.2 - Configurações de cadeia cinemática [64].....	26
Figura 3.3 - Evolução do preço e densidade das baterias	27
Figura 3.4 - Esquema da tecnologia V2G [100]	31
Figura 4.1 - Rede elétrica com tecnologia V2G e geração de energias renováveis	35

Figura 4.2 - Variação da velocidade do vento ao longo do dia 2 de Fevereiro de 2017	38
Figura 4.3 - Variação da radiação solar ao longo do dia 2 de Fevereiro de 2017	38
Figura 4.4 - Variação da velocidade do vento ao longo do dia 14 de Julho de 2017.....	39
Figura 4.5 - Variação da radiação solar ao longo do dia 14 de Julho de 2017	39
Figura 4.6 - a) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 1, b) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 2, c) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 3, d) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 4, e) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 5	41
Figura 5.1 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia eólica	43
Figura 5.2 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia solar	44
Figura 5.3 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no consumo residencial .	45
Figura 5.4 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no carregamento dos veículos.....	46
Figura 5.5 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia eólica	47
Figura 5.6 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia solar	48
Figura 5.7 Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no consumo residencial ...	49
Figura 5.8 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no carregamento dos veículos.....	50

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Potência instalada nas diferentes tecnologias [30].	13
Tabela 2.2 - Produção de Energia por região [30]	14

Abreviaturas e Símbolos

AT	Alta Tensão
BEVs	<i>Battery Electric Vehicle</i>
BT	Baixa Tensão
CCS	<i>Combined Charging System</i>
CMEE	Comercializadores de eletricidade para a Mobilidade Elétrica
CO ₂	Carbon Dioxide - Dióxido de Carbono
EV	<i>Electrical Vehicle</i> - Veículo elétrico
FCEV	<i>Fuel Cell Electrical Vehicle</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE	Gases de Efeito de Estufa
G2V	Grid to Vehicle
Hz	Hertz
MW	Mega Watt
MT	Média Tensão
PHEV	Plug-in Electric Vehicle - Veículo Híbrido Plug-in
PPMV	Parts per million - Partes por milhão
PV	Photovoltaic Energy - Energia Fotovoltaica
RES	Renewable Energy - Energias Renováveis
RME	Rede de Mobilidade Elétrica
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>
V	Volt

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo introduz o projeto de dissertação “Os desafios da mobilidade urbana num contexto de cidades inteligentes”, inserido no 5º ano do plano curricular do Mestrado Integrado em Eletrotécnica e Computação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Far-se-á, ao longo deste, uma breve contextualização ao tema, com a definição dos objetivos propostos, bem como uma descrição da organização da presente dissertação, de modo a facilitar a sua leitura e compreensão para todos os interessados.

1.1 - Enquadramento

Atualmente, o progresso e o bem-estar da sociedade está ligado a um elevado consumo de energia. O desenvolvimento da indústria, o aumento do número e da circulação de automóveis e a necessidade dos países em desenvolvimento aumentarem o ritmo de crescimento, associa-se também um aumento de poluição. A utilização massiva de recursos de natureza fóssil, enquanto principal fonte de energia, tem implicações bastantes severas no meio ambiente, que simplesmente resultaram num aumento das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) e posterior degradação do meio ambiente. Deste modo, as energias renováveis surgem com benefícios ambientais e/ou custos de produção mínimos, mas que requerem um grande investimento inicial. Sabe-se hoje que estas poderão fornecer cerca 30% da geração adicional até 2035 e deste modo, contribuir para a diminuição da emissão destes gases e das suas consequências [1].

Nos dias de hoje, é extremamente importante que a sociedade procure novas formas de utilização e conversão de energia cada vez mais eficientes. Em resposta a estes desafios, tem-se vindo a diversificar o tipo de energia que se consome, recorrendo-se a energias

alternativas, tais como a hídrica, eólica ou solar, de forma a se reduzir a dependência do petróleo e a diminuir os GEE.

Com a crescente urbanização, as cidades tornaram-se ecossistemas sociais complexos em que é necessário o desenvolvimento de novas estratégias que permitam o alcance de uma melhor performance e a sua sustentabilidade. Deste modo, surgiu o conceito *smart city*, que primoriza a inovação urbana, em relação ao caráter urbano tradicional, de modo a tornar a cidade mais “verde”, “inteligente”, “aberta” e “inovadora”, tendo em vista a sustentabilidade ambiental e social, relacionada com o crescimento urbano [3]. A sua emergência dá-se pela combinação da economia do conhecimento e inovação, capitalizado pela via da tecnologia e do conhecimento [4].

A mobilidade, que desempenha um papel crucial da qualidade de vida urbana, é um fator chave para a construção de uma cidade sustentável. O transporte sustentável auxilia no crescimento económico e acessibilidade, sendo portanto um meio de se atingir a equidade social, melhorar a saúde e a resiliência das cidades [5].

Os veículos elétricos podem pois, atenuar a dependência energética que têm como fonte os combustíveis fósseis, utilizando energia produzida através de fontes renováveis, por forma a reduzir as emissões poluentes.

O desenvolvimento de veículos equipados com motores mais eficientes tem sido preocupação constante e, nos dias de hoje, estes possuem consumos e emissões cada vez mais reduzidos. Um conjunto bastante alargado de produtores, tem vindo a apresentar os seus veículos elétricos e como alternativa aos veículos com motor de combustão, que têm como particularidade a utilização de energia elétrica como fonte de energia, armazenando-a em baterias. O veículo elétrico funciona unicamente com recurso a uma bateria elétrica, podendo esta ser recarregada através da ligação à corrente elétrica [6].

A aposta na mobilidade elétrica, principalmente em veículos elétricos, representa, pois o novo paradigma de transporte, tendo por base a mobilidade eficiente e sustentável. O veículo elétrico é apontado como sendo uma excelente alternativa ao veículo com motor de combustão, pois concede benefícios como a não emissão de gases para a atmosfera e a eficácia do seu motor.

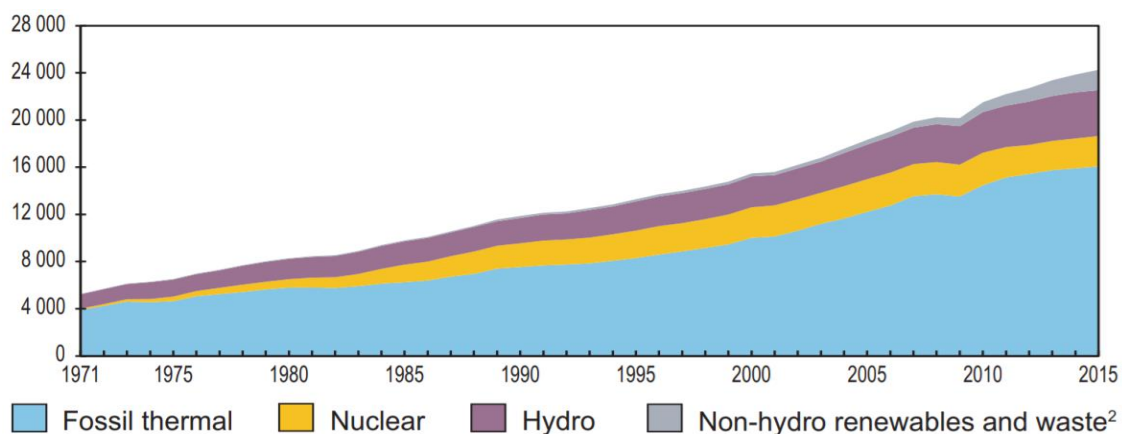


Figura 1.1 - Consumo mundial de eletricidade em TWh, entre 1971 e 2015 por fonte [2]

Pelo facto de os custos de aquisição bem como os de aluguer da bateria continuarem bastante elevados e por “aparentar” uma baixa autonomia, os condutores revelam alguma relutância e desinteresse na aquisição do mesmo. No entanto, é o surgimento deste tipo de problemas, que leva a um crescimento incessante na procura de soluções, e com isto, a introdução deste paradigma num ambiente smart grid.

Nos dias de hoje, o veículo elétrico funciona apenas como recetor de energia da rede, que pode ser do tipo elétrico, pilhas de combustível, híbrido ou combustível fóssil. No entanto, com a modernização das redes elétricas, o surgimento de *smart grids* e uma integração significativa de veículos elétricos no futuro, pretende-se utilizar sistemas de carregamento de baterias de veículos elétricos, que operam de modo bidirecional, viabilizando o modo de operação *vehicle-to-grid* (V2G) [7].

Desde 2003, por intermédio de um projeto levado a cabo pela Câmara Municipal, a cidade do Porto tem apostado no desenvolvimento de um sistema de monitorização da qualidade de vida urbana, que influencie as condições de vida e de bem-estar dos cidadãos. Estratégias na mobilidade e consequente diminuição da utilização de veículos de combustão é um dos objetivos de uma *smart city* e como tal, ressalva-se o impacto que o aumento do número de veículos elétricos terá nas redes elétricas. Deste modo, é urgente explorar estratégias que utilizem os recursos disponíveis na cidade, como a energia eólica e a radiação solar, para a geração de energia e diminuição do recurso a combustíveis fósseis.

1.2 - Objetivos

A realização deste estudo tem como objetivos:

- observar o comportamento do modelo às condições de vento e radiação solar na cidade do Porto;
- estudar o impacto que a utilização de veículos elétricos dotados de tecnologia V2G terá na rede elétrica
- compreender melhor o aspeto que uma smart grid poderá ter num futuro próximo, como um elemento de uma smart city.

1.3 - Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida num total de 6 capítulos.

No primeiro capítulo no qual se insere este subcapítulo, é apresentado o enquadramento geral do projeto, definidos os objetivos, descrita a metodologia utilizada, de forma a dar a conhecer e/ou clarificar alguns princípios importantes para a compreensão do trabalho.

O segundo capítulo consiste numa revisão bibliográfica que introduz os principais conceitos e fundamentos que guiaram todo o trabalho desenvolvido. É dada ênfase aos tópicos mais relevantes para o projeto, nomeadamente as o papel das cidades nas alterações climáticas, das energias renováveis como fonte de energia e o papel que as cidades inteligentes terão na sociedade atual.

No terceiro capítulo faz-se referência à história e evolução dos veículos elétricos, bem como a referência a alguns dos órgãos que o constituem, para deste modo, reconhecer a sua evolução e o rumo que estão a seguir as soluções adotadas nos novos veículos.

No quarto capítulo é descrito o modelo adaptado de uma rede com geração termoelétrica, geração de energias renováveis através de produção eólica e solar com um veículo elétrico, dotado de tecnologia V2G, ligado a essa mesma rede. São expostos os dados meteorológicos recolhidos num dia de Verão e num dia de Inverno, que vão servir de base para analisar a diferença de produção nas duas estações. Neste capítulo é, também, feita a análise à evolução do estado de carga das baterias.

No quinto capítulo é feita a análise aos resultados obtidos nas simulações realizadas e a comparação desses mesmos resultados.

No sexto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões do trabalho desenvolvido, objetivos cumpridos, dificuldades encontradas e algumas reflexões pessoais acerca do trabalho futuro.

São ainda apresentadas as referências e anexos do texto principal.

1.4 - Notação

Na presente dissertação é utilizada a notação científica frequentemente utilizada na literatura, harmonizando os aspetos comuns em todas as secções sempre que possível. Sempre que necessário, em cada secção pode ser utilizada uma notação adequada.

As figuras e tabelas são identificadas com referência à secção em que elas estão inseridas e não de forma sequencial ao longo da dissertação. Na situação de uso de uma citação ou excerto retirado de um ou mais documentos, esta é devidamente identificada no decorrer do presente trabalho, são estruturadas sob síntese de nomes e informações técnicas provenientes da língua portuguesa ou inglesa, conforme aceita na comunidade técnica e científica.

Capítulo 2

Revisão Crítica da Literatura

Ao longo deste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos e fundamentos associados às alterações climáticas devido à crescente urbanização e o uso de energias renováveis, que serviram de suporte para a elaboração da presente dissertação. A exploração dos conceitos como o clima, as energias renováveis e as cidades inteligentes constituem o alicerce na exploração dos desafios da mobilidade urbana que se pretende realizar.

Inicialmente far-se-á, de uma forma geral, uma discussão acerca do impacto das cidades nas alterações climáticas. Após a familiarização das condicionantes, descrevem-se as energias renováveis e importância das mesmas no enquadramento dos desafios da mobilidade dos meios urbanos. Por fim, discute-se o conceito de cidades inteligentes, da sua capacidade de reduzirem a emissão de gases poluentes e dos impactos que estas mudanças poderão ter na sociedade atual e futura.

2.1 - Alterações climáticas

A palavra “alterações” cujo prefixo «alter» em latim significa «outros» associada ao clima sugere a ideia de variação nas propriedades que compõem o sistema climático ou rutura nos ciclos naturais [8].

Atualmente, a alteração climática é referida como o maior e mais complexo problema ambiental, sugerindo que as atividades humanas influenciam o padrão e a velocidade das alterações climáticas e que há necessidade de atuar para garantir a indispensável preservação dos recursos naturais, a qualidade ambiental na Terra e a vida humana [9].

O clima do planeta é fortemente condicionado pela energia recebida do Sol e pela emissão de energia quer pela atmosfera, quer pela superfície da terra.

O efeito de estufa é um fenómeno climático natural, que permite a manutenção de temperaturas favoráveis à existência de vida na Terra. Parte da energia solar que chega ao planeta é refletido diretamente para o espaço ao atingir a atmosfera e parte é absorvida pelos oceanos e superfície da Terra, promovendo o seu aquecimento [10]. A energia que é irradiada de volta para o espaço, é absorvida de forma seletiva pelos gases de efeito de estufa (GEE) presentes na atmosfera, que apesar de deixarem passar a energia solar, são opacos à radiação terrestre. As camadas inferiores da atmosfera são sobretudo aquecidas pela energia emitida pela superfície da Terra e os gases como H_2O e o CO_2 contribuem decisivamente para o efeito de estufa natural, possibilitando vida na terra.

Quando existe um balanço entre a energia solar incidente e a energia refletida na forma de calor pela superfície terrestre, o clima mantém-se praticamente inalterado. No entanto, o balanço de energia pode ser alterado devido a mudanças, quer na quantidade de energia que chega à superfície terrestre, quer na refletida para o espaço, alterações na órbita da Terra ou do próprio Sol e na da quantidade de energia de maiores comprimentos de onda refletida de volta para o espaço, devido a mudanças na concentração dos GEE na atmosfera.

Desde a sua formação, a Terra tem sido sujeita a alterações climáticas de maior ou menor escala, resultantes de causas naturais, tais como as variações dos parâmetros orbitais, da atividade solar e atividade vulcânica e antropogénicas. O aumento da concentração de GEE na atmosfera, especialmente CO_2 , metano e óxido nítrico, com emissões provenientes de algumas atividades humanas está na origem das alterações climáticas antropogénicas.



Figura 2.1 - O papel dos Gases de Efeito de Estufa [11]

Desde os meados do século XVIII que as atividades humanas têm contribuído para o aumento das emissões de GEE, com a IPCC 2007 a referir que só entre 1970 e 2004, as emissões globais derivadas das atividades humanas aumentaram 70%. Enquanto que no período pré-industrial, a concentração de CO₂ atmosférica se situava em 280 ppmv, atingiu 379 ppmv em 2005, encontrando-se em 383 ppmv em 2007.

De entre as atividades realizadas pelo Homem, o consumo de Energia representa a maior fatia de emissões de GEE, responsável por cerca de 70% das emissões de GEE, uma vez que é nesta atividade que se insere o consumo de combustíveis fósseis.

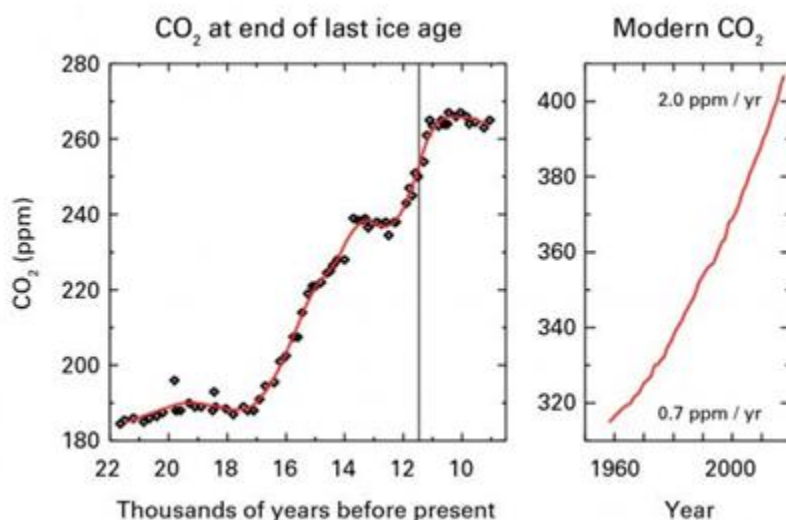


Figura 2.2 - Evolução da concentração atmosférica de CO₂ [12]

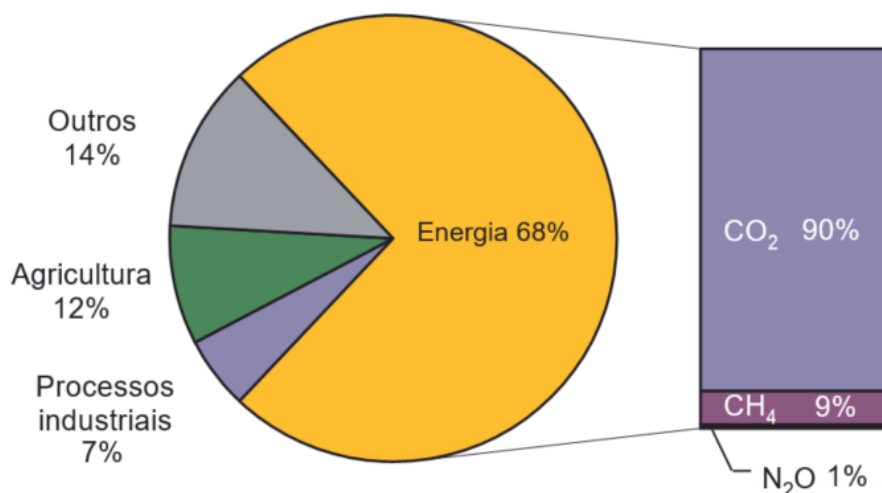


Figura 2.3 - Quota de percentagem de Gases Efeito de Estufa, 2014. (*Outros pode incluir queima de biomassa em grande escala, deterioração pós-queima, emissões indiretas de N₂O de proveniente de emissões não agrícolas de NO₂ e NH₃, resíduos e solventes) [2]

Dentro do setor de consumo energético a nível mundial, constata-se que é na eletricidade, aquecimento e transportes que são emitidas mais quantidades de CO₂, com valores na ordem dos 60%.

Além da alteração do albedo terrestre e redução da concentração do ozono estratosférico, são as emissões de GEE, procedentes de um sistema económico alicerçado em combustíveis fósseis, que constituem a maior influência humana no sistema climático terrestre. Ao aumentar a concentração destes gases, aumenta-se a intensidade do efeito de estufa e, conseqüentemente, a temperatura média global à superfície dos seus efeitos decorrentes como fenómenos climáticos extremos e subida do nível médio da água do mar [13].

Atualmente, os centros urbanos são os principais contribuintes para a emissão dos gases, sendo responsáveis pelo consumo de 70% da energia disponível e por 40% das emissões de GEE, compostos essencialmente por CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC e SF₆ [14]. Mais de metade da população mundial vive em cidade, estimando-se que em 2050 a população urbana represente 69% da população mundial.

Em termos globais, só a produção dos materiais necessários para suportar este crescimento urbano resultará, até meados do século, em metade das emissões de carbono permitidas, ou seja, cerca de 10 bilhões de toneladas. As projeções indicam que as mudanças ocorrerão mesmo em diferentes cenários de emissão e que, caso se mantenham os níveis atuais, a previsão para o final do século será um aumento de 2.6 a 4.8 graus Celsius na temperatura média global, com um aumento de 0.45 a 0.82 metro no nível de água do mar [15].

É reconhecido que as cidades são o motor da economia mundial, nelas se concentram grande parte da riqueza, da inovação e do emprego. No entanto, as cidades concentram também os problemas económicos, sociais e ambientais e consomem muito mais recursos materiais e energéticos externos que internos, tendência que a globalização veio acentuar.

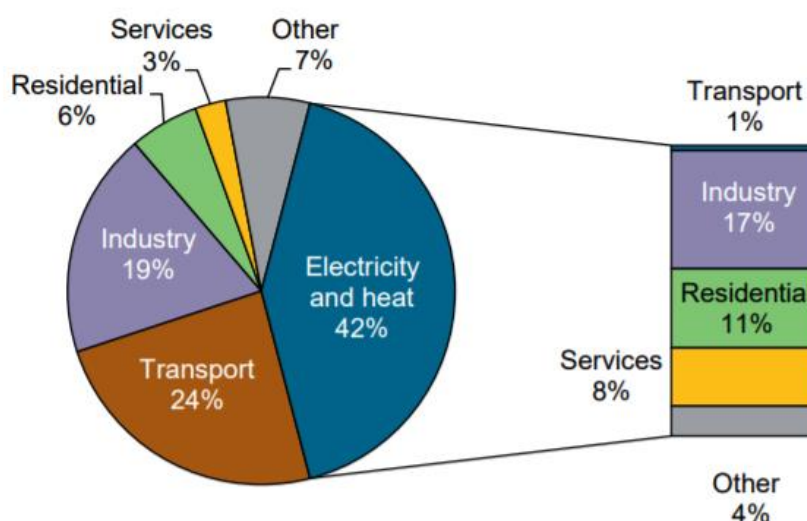


Figura 2.4 - Emissão de CO₂ por setor de consumo energético a nível mundial [2]

Elas são particularmente vulneráveis aos impactos das alterações climáticas, como resultado, entre outros fatores, do elevado grau de artificialização do seu território, da dependência de sistemas de infraestruturas de qualidade frequentemente deficiente e da concentração populacional [11].

Os impactos causados pelas alterações no clima já são sentidos nos centros urbanos e vêm aumentando nos últimos anos. O aumento da temperatura, do nível do mar, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos são alguns dos principais problemas resultantes da contaminação do ambiente. Para além disto, sabe-se ainda que a poluição é responsável por cerca de 16% das mortes em todo o mundo, sendo 3 vezes superior às mortes causadas por doenças infecciosas como HIV, tuberculose ou malária [16].

Para a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, as alterações climáticas são ocorrências no comportamento do clima devidas, direta ou indiretamente, à atividade humana através da alteração da composição da atmosfera global e que, em adição à variabilidade natural do clima são observadas sobre longos períodos de tempo. As cidades estão preparadas para contribuir de forma significativa para a redução da emissão de gases de efeito de estufa pois elas são as responsáveis pelo planeamento urbano e transporte público [17]. Os esforços na mitigação das emissões de gases do efeito de estufa precisam contemplar o potencial das cidades e, em especial o uso mais eficiente da energia e sua geração de forma distribuída, usando principalmente as fontes renováveis disponíveis. Os veículos elétricos são um bom exemplo de como a energia renovável, trazendo benefícios quer ambientais, quer económicos.

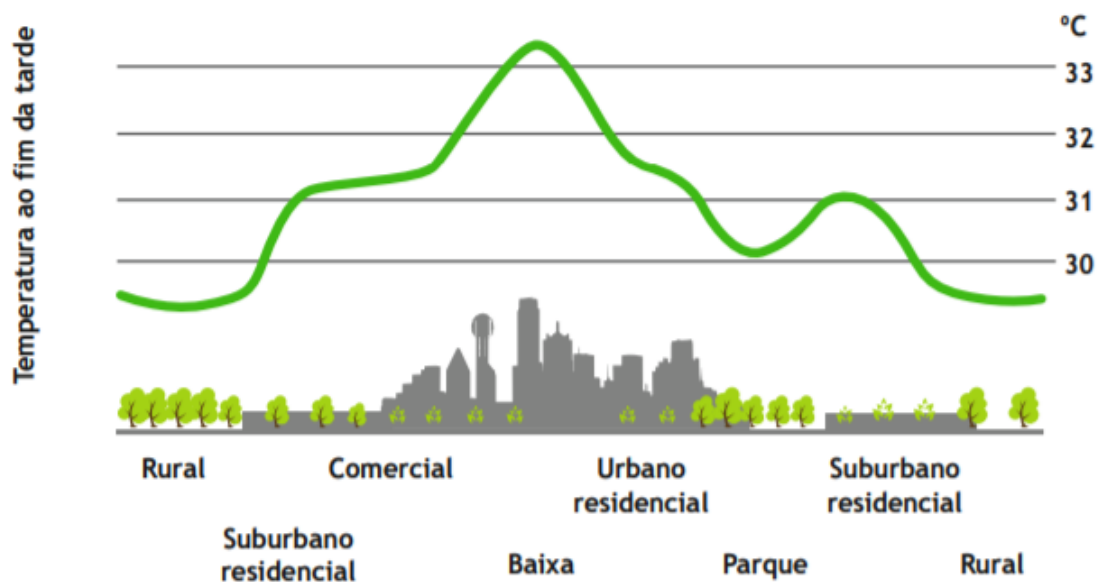


Figura 2.5 - Perfil térmico numa cidade, em que é evidenciada uma ilha de calor urbana [11]

2.2 - Energias renováveis

No início dos anos 70 surgiram as primeiras preocupações ambientais aliadas à tomada de consciência da degradação no meio ambiente e futuro esgotamento dos recursos naturais. A evidência crescente de que as atividades humanas, com destaque para a queima de combustíveis fósseis que resulta em grandes quantidades de emissões de GEE, provocam alterações do clima à escala global do planeta com graves consequências, despertou a consciência ambiental mundial. O contínuo aumento das preocupações ambientais por parte das grandes potências mundiais, com o consequente estabelecimento de metas e normas a serem cumpridas através do Protocolo de Quioto, juntamente com o elevado preço dos combustíveis fósseis, faz com que o estudo da aplicação das energias renováveis seja cada vez mais relevante em todo o mundo [11].

Neste sentido, a União Europeia definiu, através da Diretiva FER, a promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis por parte dos seus países membros. O objetivo desta diretiva é garantir que o aumento global da temperatura média não ultrapasse os 2°C, de alcançar de forma eficiente uma quota de, pelo menos, 27% de energias renováveis e para tornar a UE num líder mundial de domínio das energias renováveis contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias avançadas e competitivas neste domínio [18].

As energias renováveis são as energias alternativas ao modelo tradicional e surgem em substituição dos combustíveis fósseis. As energias renováveis abrangem todas as fontes de energia inesgotáveis ou que podem ser repostas a curto/médio prazo de forma espontânea ou por intervenção humana. São também chamadas de fontes de energia ecológica e quando envoltas numa política energética desempenham um papel fundamental no desenvolvimento sustentável do nosso planeta [19].

São exemplos de fontes de Energia Renovável o sol, as ondas e marés, o vento e a biomassa sendo que, até ao final do século XX, o consumo de eletricidade era maioritariamente satisfeito pela queima de combustíveis fósseis como o petróleo, carvão e o gás natural ou a energia nuclear [20].

É tido como certo que a redução das emissões de carbono dos sistemas de geração elétrica implica que uma parte significativa da geração de eletricidade não produza carbono, tal como o vento e a solar. O sistema elétrico tem que equilibrar a oferta e a procura a cada segundo, uma tarefa cada vez mais difícil à medida que as energias renováveis intermitentes aumentam sua penetração e a quantidade de inércia no sistema diminui. A eletricidade produzida a partir do vento e solar podem ser altamente variáveis e imprevisíveis em períodos curtos de tempo e por isso têm a denominação de intermitentes [21]. São difíceis de prever com precisão mais do que algumas horas a frente, tornando o armazenamento cada vez mais atraente como um elemento-chave em um sistema elétrico dominado por fontes renováveis. A geração de eletricidade a partir de fontes renováveis intermitentes representa

um novo desafio para os serviços elétricos [22]. Naturalmente, espera-se que esses sistemas de geração com baixa emissão de carbono sejam estruturados para minimizar o custo total de geração. Grande parte da discussão sobre o armazenamento de energia elétrica é técnica, reportando resultados de pequenas redes modelo ou experiências individuais [23]-[25]. As baterias dos veículos elétricos poderão fazer parte das soluções disponíveis para armazenamento de energia elétrica [26].

Em Portugal, o clima político da última década tem favorecido o desenvolvimento das energias renováveis, transformando significativamente o perfil da produção de energia que resultou, segundo os dados da REN, numa produção de 57% do consumo de origem renovável no ano de 2016 (aumento de 20% desde 2012), com a energia eólica e hidráulica a terem um maior impacto nestes números. O esperado é que este número aumente cada vez mais a quota das energias renováveis na produção de energia. As importações de energia ocorridas em 2016 desceram ainda cerca de 4% face ao ano anterior, aumentando consequentemente a produção doméstica em 12,7% [28].

Para além disto, em Portugal a incorporação da diretiva FER no consumo final bruto de energia situou-se nos 28%, valor superior à meta estabelecida para 2020 [29].

Hoje em dia, a eletricidade em Portugal é produzida com recurso a diferentes tecnologias e a diferentes fontes de energia, com o número de produtores a aumentar significativamente devido ao aparecimento de centrais de menor potência. Segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia, no final de Outubro de 2017, a potência instalada em unidades de produção de energia elétrica através de fontes renováveis foi de 13 664MW [30].

Na Figura 2.7, é apresentada a evolução que se deu em Portugal na produção de eletricidade de origem de fontes de energia renovável desde Novembro de 2008 até Outubro de 2017. Verifica-se que no decorrer dos referidos anos, ocorreu um crescimento na produção de eletricidade nas variadas fontes de energia renováveis, com exceção na hídrica nos anos de 2011, 2012, 2015 e 2017.



Figura 2.6 - Exemplos de Energias renováveis [27]

Esta quebra de produção na obtenção de energia resultante da transformação da energia potencial de uma massa de água em energia cinética é justificada pelo fato de se tratar de anos extremamente secos e quentes, como se pode conferir nos boletins climáticos preliminares disponibilizados no Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Constata-se ainda, de forma bastante expressiva, que a produção de energia hídrica e eólica são as fontes renováveis com maior peso na produção total de energia renovável a nível nacional.

O aumento gerado na produção de energia está diretamente relacionado ao crescimento da potência instalada nas diferentes tecnologias. De acordo com a Figura 2.7, em Outubro de 2017 a fonte hídrica representa a tecnologia com a maior potência instalada (7,1GW), comparativamente a Eólica (5,31GW), Biomassa (564MW), Resíduos sólidos urbanos (89MW), Biogás (89MW), Geotérmica (33MW) e Fotovoltaica (478MW). Relativamente ao crescimento verificado desde o ano de 2008, a energia eólica é a que regista um maior crêscimo (na ordem dos 2,26GW). No entanto em termos relativo, é a fotovoltaica que mais se destaca, passando de uma inexpressiva potência instalada de 62MW em 2008 para a 478MW registada em 2017.

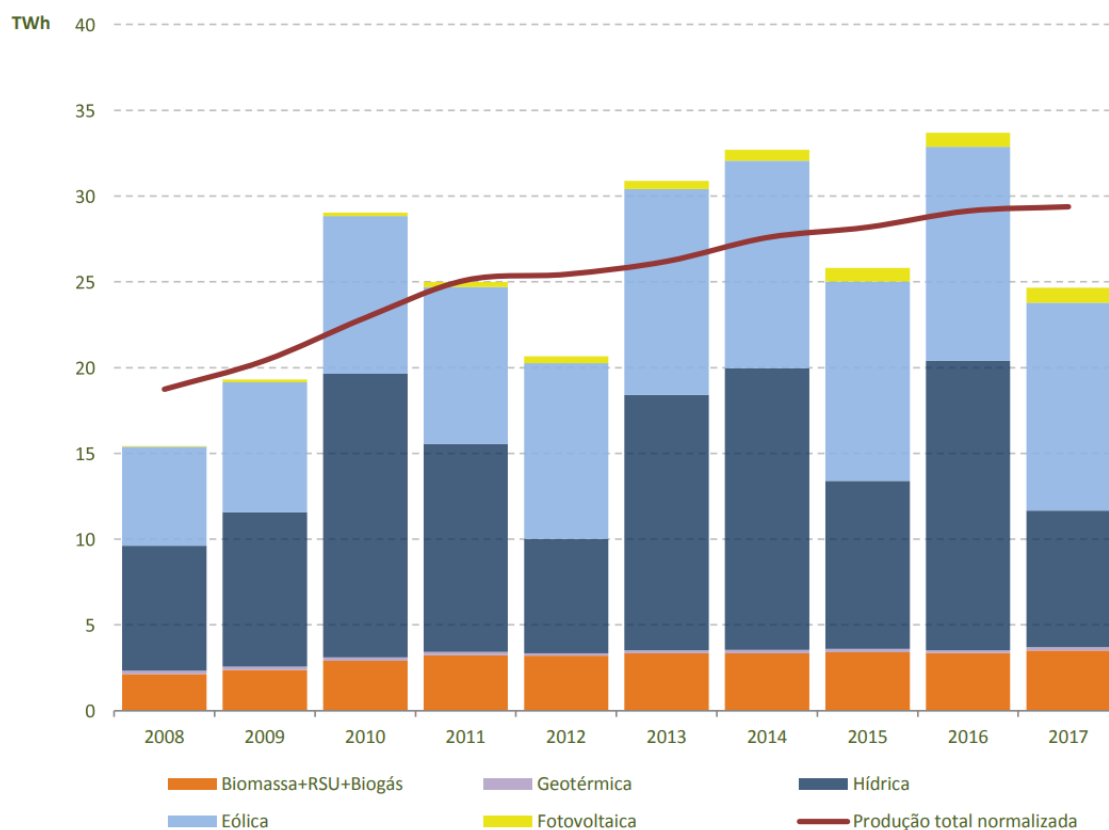


Figura 2.7 - Evolução da Produção de Energias Renováveis gerados em Portugal [30]

Tabela 2.1 - Potência instalada nas diferentes tecnologias [30].

	Potência Instalada (MW)									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total Renovável	8 460	9 104	9 682	10 624	11 053	11 310	11 677	12 292	13 388	13 664
Hídrica	4 857	4 883	4 896	5 330	5 537	5 533	5 570	6 053	6 838	7 098
Grande Hídrica (>30MW)	4 234	4 234	4 234	4 666	4 877	4 877	4 916	5 389	6 169	6 430
PCH (>10 e ≤30 MW)	279	279	279	279	257	257	254	255	254	254
PCH (≤10 MW)	344	369	383	385	403	399	400	409	414	414
Eólica	3 058	3 564	3 914	4 378	4 531	4 731	4 953	5 034	5 313	5 313
Biomassa	350	408	592	575	564	564	539	552	564	564
c/ cogeração	323	323	476	459	441	441	416	428	434	434
s/ cogeração	27	85	116	116	123	123	123	123	130	130
Resíduos Sólidos Urbanos	86	86	86	86	86	86	86	89	89	89
Biogás	18	24	31	51	62	68	81	85	89	89
Geotérmica	29	29	29	29	29	29	29	29	29	33
Fotovoltaica	62	110	134	175	244	299	419	451	467	478
FV de concentração	0	0	0	0	0	0	6	9	9	14

Em termos geográfico, é na região Norte e Centro do país onde é gerada mais de 82% da eletricidade produzida a partir destas fontes de energias, tal como se pode constatar na Tabela 2.2. Sendo que na região Norte e Alentejo a tecnologia com maior potência instalada a Hídrica e na região do Centro e Algarve a Eólica.

Os dados referentes ao ano de 2015, demonstram que comparativamente aos Estados-membros, Portugal foi o quarto país da União Europeia com maior percentagem de produção de energia elétrica com origem em fontes renováveis, sendo ultrapassado apenas pela Suécia (74%), Áustria (65%) e Dinamarca (50%). Este positivo destaque deve-se sobretudo à contribuição das fontes hídricas e eólicas, que representaram nesse ano 84% das fontes de energia renováveis do país.

Tabela 2.2 - Produção de Energia por região [30]

Produção por Região (GWh)										
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Portugal	15 141	19 016	28 754	24 692	20 410	30 610	32 454	25 510	33 384	24 336
Continente	14 768	18 551	28 214	24 174	19 956	30 092	31 900	25 000	32 821	23 750
Norte	7 804	9 762	16 007	12 317	9 182	15 985	16 951	12 440	18 151	10 854
Centro	5 286	6 664	9 056	8 682	8 082	10 206	10 965	8 846	10 780	9 168
Lisboa	738	818	916	953	906	1 022	1 084	1 145	1 182	1 241
Alentejo	838	1 062	1 841	1 827	1 321	2 267	2 228	1 883	1 997	1 774
Algarve	102	245	394	394	465	613	672	686	711	714
R.A. Açores	240	239	264	278	239	299	310	298	284	304
R.A. Madeira	125	205	232	236	212	215	244	210	279	282
Desconhecido	8	21	44	3	2	4	0	3	0	0

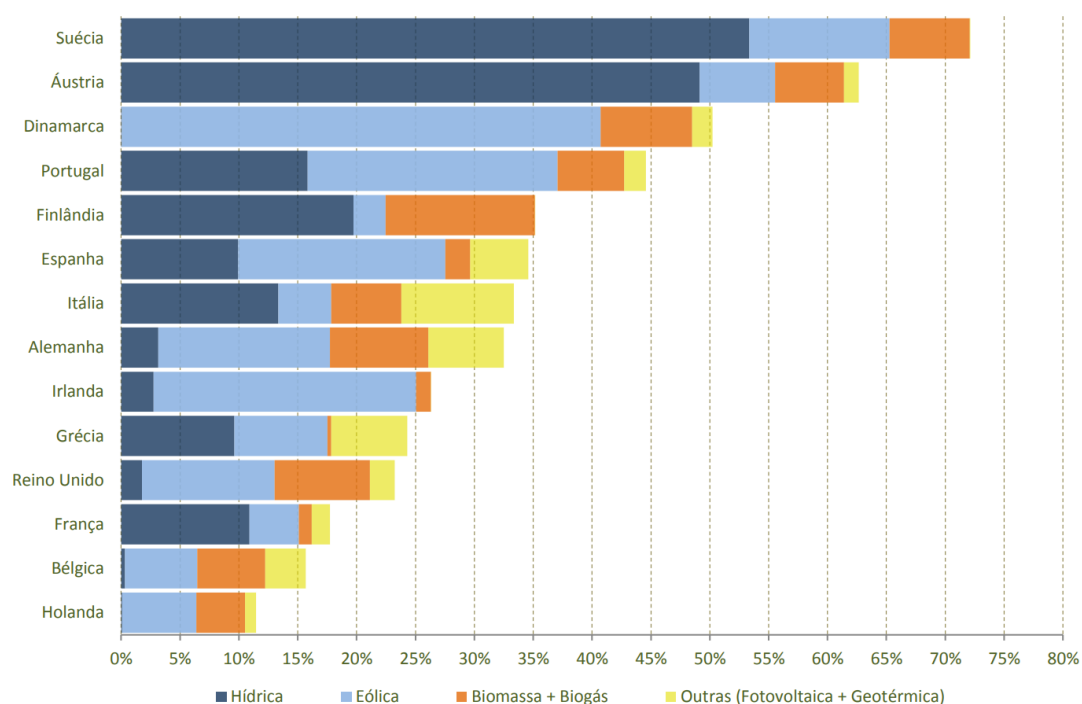


Figura 2.8 - Produção de Energia Renovável discriminada por país [30]

2.2.1 - Recursos energéticos distribuídos

Os recursos energéticos distribuídos são recursos de geração de energia elétrica diretamente conectados a sistemas de distribuição de média tensão (MT) ou de baixa tensão (BT), e não aos sistemas de transmissão de energia em massa [31].

Os recursos energéticos distribuídos incluem tanto unidades de geração, como células de combustível, microturbinas, energia fotovoltaica, etc., como tecnologias de armazenamento de energia, como baterias, volantes, armazenamento de energia magnética por supercondutores, para mencionar apenas algumas [31]. Os recursos de energia renováveis foram inseridos em sistemas de energia em gradualmente todo o mundo e a uma taxa crescente, muitos dos quais estão instalados nos sistemas de distribuição como gerações distribuídas [32].

A definição exata de geração distribuída varia um pouco entre fontes e capacidades; no entanto, é geralmente definida como qualquer fonte de energia elétrica de capacidade limitada, diretamente conectada à rede de distribuição do sistema de energia onde é consumida pelos consumidores finais. A geração distribuída não é um novo conceito na evolução da indústria da eletricidade. A geração distribuída pode ser alimentada por microturbinas, motores de combustão, células de combustível, turbinas eólicas, geotermismo, sistemas fotovoltaicos, etc. A geração distribuída acontece a dois níveis: ao nível local e ao nível final. As fontes de produção de energia a nível local geralmente incluem tecnologias de energia renovável que são específicas da localização, tal como turbinas eólicas, produção de energia geotérmica, sistemas solares (fotovoltaicos e de combustão) e algumas centrais hidroelétricas. Ao nível final, o consumidor de energia individual pode aplicar muitas dessas mesmas tecnologias com efeitos semelhantes [31]-[33].

Atualmente a legislação não valoriza o facto das unidades de produção dispersa poderem controlar de forma ativa a injeção de potência ativa e reativa na rede. O controlo de potência ativa e reativa a ser valorizado iria levar a que o operador do sistema tivesse uma maior capacidade de controlo sobre a rede podendo assim, solicitar, se necessário, a uma unidade de produção dispersa a injeção de potência ativa na rede. Também poderia ser valorizada, em baixa tensão, a energia não fornecida pelas unidades quando estas são utilizadas como forma de controlo ativo na gestão de tensões no sistema.

2.2.2 - Energia Eólica e Solar em Portugal

Atualmente a eletricidade em Portugal é produzida com recurso a diferentes tecnologias e a diferentes fontes de energia. O número de produtores tem vindo a aumentar significativamente devido ao aparecimento de centrais de menor potência.

Usado para produzir energia eólica, o vento é o movimento de massas de ar, provocado por um aquecimento diferenciado das zonas da atmosfera ou pela orografia do terreno. As centrais eólicas instalam-se em locais onde a velocidade média anual do vento excede 6m/s, o que em Portugal se verificam em zonas montanhosas e junto à costa. As centrais eólicas têm aerogeradores cujas pás rodam com a força do vento, fazendo rodar o eixo do gerador, que produz eletricidade. Além das instalações em terra (onshore), as centrais eólicas também podem ser instaladas no mar (offshore), aproveitando o recurso presente em zonas marítimas e a grande área disponível, mesmo considerando as restrições. Atualmente, cerca de ¼ da eletricidade consumida em Portugal tem origem eólica [35].

No fim de 2007, Portugal era o décimo produtor mundial de energia eólica em termos absolutos, e o quarto em termos relativos, tendo em conta a sua área e população. Segundo o relatório de 2007 do Global Wind Energy Council [36], Portugal tinha uma capacidade instalada de 2 150 megawatts (MW), o que representa 2.3% do mercado mundial.

Atualmente, a nível mundial os 3 754 MW de potência cumulativa portuguesa, representam mais de 2.2% do total [37].

A produção de eletricidade usando o sol é possível através de painéis solares fotovoltaicos ou painéis solares térmicos. No primeiro caso, as células fotovoltaicas ao receberem os raios solares transformam-se em eletricidade. No segundo caso, usam-se espelhos que concentram a luz solar para aquecer um fluido, gerando vapor que faz rodar as pás de uma turbina, criando um movimento de rotação do eixo do gerador que produz eletricidade [35].

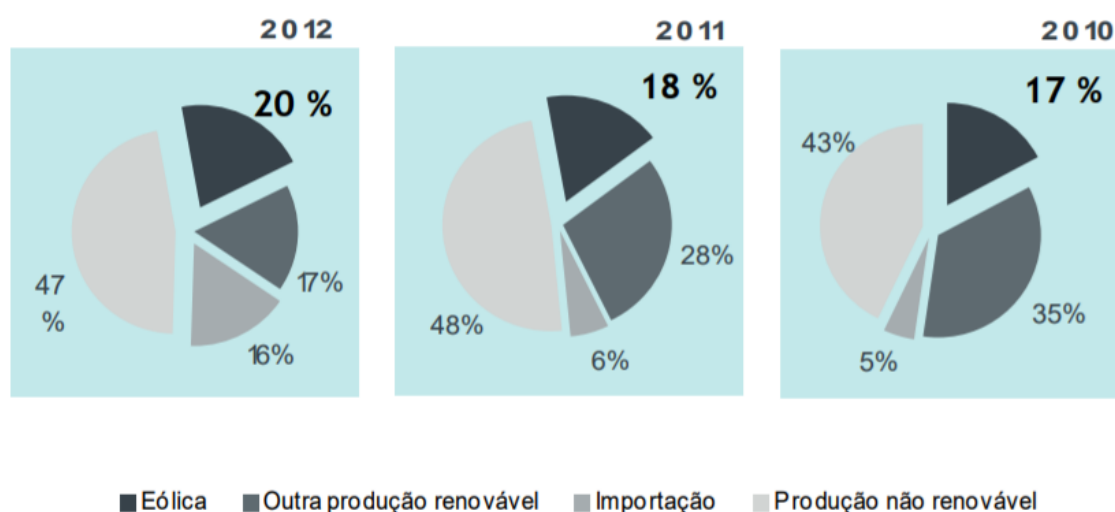


Figura 2.9 - Distribuição das fontes de energia renovável em Portugal [34]

Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar devido à sua localização geográfica. Uma forma de dar ideia a esse facto é em termos de número médio anual de horas de sol, que varia entre 2 200 a 3000 para Portugal. No entanto, este recurso tem sido mal aproveitado para usos tipicamente energéticos.

2.3 - Cidades Inteligentes

O grande crescimento populacional que as cidades enfrentam, resulta numa enorme procura no fornecimento de recursos como a água, energia, saturação de transportes públicos e das vias de comunicação, acesso a serviços de saúde, educação e segurança. Por tudo isto, medidas de adaptação são fundamentais para melhorar a eficiência da estrutura cidadina, ultrapassar os efeitos adversos no ambiente que estes acarretam, permitindo melhorar a qualidade de vida do cidadão [38].

O desenvolvimento urbano é um dos temas mais importantes da atualidade, e este passa por conseguir um equilíbrio entre o espaço urbano e a sustentabilidade [39].

A mobilidade urbana é fundamental no funcionamento e desenvolvimento das cidades, porém, esta representa simultaneamente a maior causa de poluição quer ambiental, quer sonora dentro das mesmas cidades.

A necessidade de uma gestão inteligente e sustentável do mundo em que vivemos está diretamente relacionada a todos os sistemas e serviços ao dispor da população, numa tentativa de aumentar a qualidade de vida sem prejuízo para o ambiente [40].

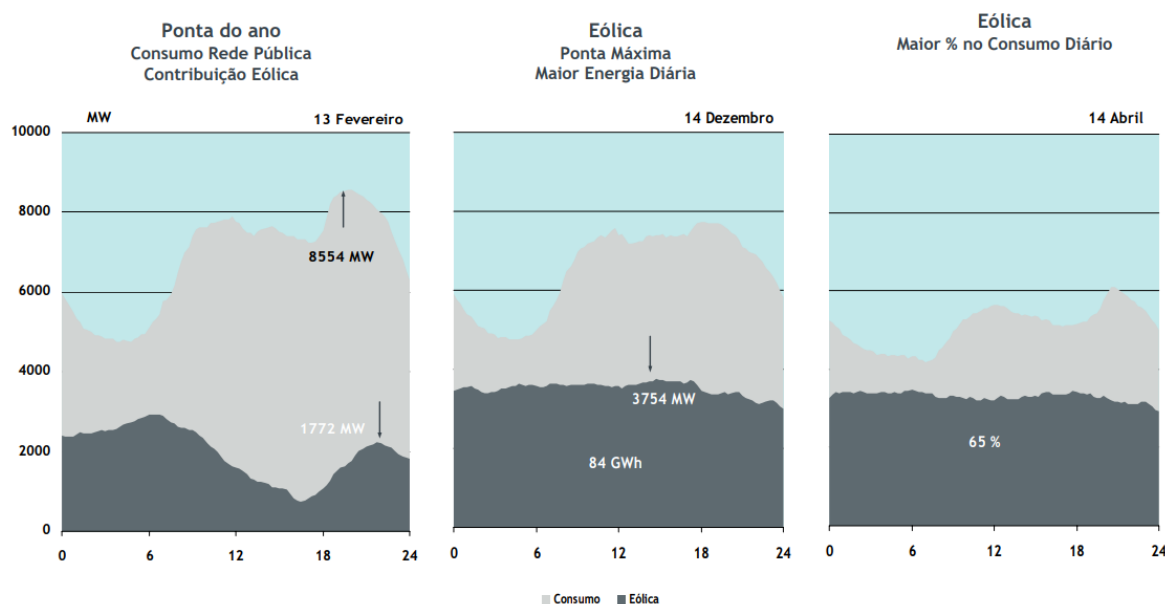


Figura 2.10 - Consumo e produção de energia eólica [34]

Nos últimos anos, uma série de novos desafios têm surgido às cidades, o que tem reforçado a popularização da ideia smart city. O termo inteligente, do inglês smart tornou-se comum nas políticas urbanas após a década de 2000, como modelo de mitigação dos atuais problemas urbanos [41].

Smart Cities ou cidades inteligentes representam um campo multidisciplinar, constantemente moldado por avanços tecnológicos e desenvolvimento urbano [42]. São cidades que através da introdução das redes digitais e das novas tecnologias de comunicação garantem uma eficiente criação, distribuição e circulação de conhecimento entre todos os seus habitantes, tendo como principal objetivo desenvolver e melhorar a qualidade de vida dos mesmos.

A literatura descreve, de forma consensual, que existem vários tipos de smart cities: as cidades industriais, com forte densidade industrial, as tecnológicas, que adotaram novas tecnologias com base em sensores e instrumentação e mais recentemente, as sociais, que apostam em ecossistemas de desenvolvimento por via da relação estreita com os seus cidadãos [43].

As cidades tornam-se inteligentes, não só em termos da forma como através da tecnologia se podem automatizar funções do dia-a-dia que sirvam pessoas, edifícios, sistemas de tráfego, como também na forma como permite que se acompanhe, compreenda, analise e planeie a cidade como um todo, de modo a melhorar a sua eficiência, equidade e qualidade de vida dos cidadãos. Os desenvolvimentos até agora realizados para obter um modelo, têm como objetivo comum que é ser aplicável a qualquer cidade, com qualquer dimensão, realidade económicas, social ou demográfica [44].

O modelo Smart City Wheel utilizado pela Comissão Europeia no projeto European Smart Cities identifica seis dimensões, seis características ou áreas de intervenção que devem ser tidas em consideração para que uma cidade seja considerada Smart City. O modelo classifica o sistema pelo qual as cidades se devem desenvolver em 6 vetores virados para diferentes focos de intervenção, a Smart People, Smart Economy, *Smart Environment*, *Smart Government*, *Smart Living* e *Smart Mobility* [45], [46].

Na Figura 2.11 pode observar-se o esquema de uma smart city, com os principais campos relacionados:

- **Educação** - As cidades devem dispor de um sistema educativo completo, que acompanhe a formação dos cidadãos desde a infância até à idade avançada e deste modo determine o nível de competência e educação dos cidadãos e os seus níveis de interação na vida ativa da cidade. Iniciativas culturais, desportivas e ambientais são também essenciais na construção de uma sociedade mais inteligente, consciente e responsável.
- **Governo** - grau de interligação entre a administração da cidade e seus cidadãos, instituições ou empresas. Através de infraestruturas de informação e comunicação os cidadãos podem aceder às informações relativas à gestão da sua

cidade. Sistema político transparente, com o cidadão a ter parte ativa nas tomadas de decisão.

- **Mobilidade** - sistema de transportes da cidade. Numa *smart city* as alternativas de transporte motorizados devem ser considerados, incentivando-se o uso de veículos não motorizados como bicicletas. Os cidadãos devem ter acesso a um sistema de transporte públicos e nele deve estar integrada uma infraestrutura de informação e comunicação.
- **Edifícios** - o conceito de casas inteligentes não está apenas relacionado com a tecnologia. Um sistema de gestão conjunta tem como benefícios aumentar a eficiência, reduzir os custos, e aumentar a importância do uso de energias renováveis.
- **Saúde** - um dos objetivos das smart cities do futuro é tornar os cidadãos mais saudáveis através de sistemas de informação de saúde integrados. A telemedicina, que já vai sendo uma realidade, diminui as filas nas unidades de saúde e revela-se um suporte vital a cidadãos com dificuldade de se deslocarem.
- **Energia e Ambiente** - relacionada com o desenvolvimento urbano sustentável e com a gestão responsável dos seus recursos. Promovem-se iniciativas de redução de consumos energéticos, implementação de políticas para redução de emissões poluentes a esforços para preservação e manutenção de espaços verdes dentro das cidades.



Figura 2.11 - Smart city [47]

2.3.1 - Porto

No âmbito do desenvolvimento desta dissertação, destaque-se a cidade do Porto, uma das mais antigas da Europa e a segunda maior cidade portuguesa e a capital da área metropolitana do Porto. Geograficamente, o Porto localiza-se na região norte de Portugal, junto à foz do rio Douro.

Uma cidade de média dimensão Europeia, com cerca de 41,42km² de área, tem uma população residente de 237 584 habitantes [49] dentro dos seus limites administrativos. Para além de internet de fibra-ótica implementada em todo o seu espaço urbano, mobilidade de transporte multimodal e tradição empreendedora, aliada a uma Universidade com mais de 31 000 estudantes, cerca de 2 300 professores no corpo docente de 14 diferentes instituições de ensino e mais de 70 centros de investigação, reúne um conjunto de características que a colocam na vanguarda das cidades inteligentes, na Europa e no Mundo.

Tanto a instalação de empresas da área da tecnologia, como a dinâmica da Universidade do Porto têm permitido que a cidade encare o futuro com positividade.

Empenhada em desenvolver-se no sentido de se tornar uma smart city, o Porto encara o conceito de cidade inteligente colocando o cidadão no centro, desenvolvendo serviços adaptados às necessidades dos cidadãos.

Para além de outros projetos, o Porto juntamente com a Universidade do Porto está inserido no projeto Future Cities, que se destina a inverter as tendências negativas da crescente urbanização, pretendendo incentivar todo o potencial de investigação interdisciplinas em tecnologias urbanas, bem como reforçar as atividades de transferência de conhecimentos [50].



Figura 2.12 - Freguesias do concelho do Porto [48]

Em 2013, através do projeto *Future Cities* a cidade do Porto foi dotada de uma inovadora infraestrutura de captação de dados que equipou a cidade com mais de 800 dispositivos com sensores, através de um investimento de cerca de 2,3 milhões de euros financiados pela Comissão Europeia e pelo Quadro Referência Estratégica Nacional e desenvolvido em parceria com a Câmara do Porto, com o propósito de realizar um grande número de estudos e melhorar a qualidade de vida na cidade.

Para além disto, o projeto *Future Cities* permitiu, através da aplicação *SenseMyCity* estudar a monitorização e caracterização do *stress* dos polícias municipais e dos condutores de autocarros, bem como de 180 outros utilizadores da mesma aplicação desenvolvida para *smartphones*. No que toca à mobilidade, o Porto possui já mais de 600 autocarros híbridos que, graças ao projeto disponibilizam *wi-fi* aos seus utilizadores.

O Porto pretende ainda, num próximo passo, proceder à recolha de lixo inteligente, que consiste na instalação de sensores nos contentores de lixo que em comunicação com os camiões de recolha e através de algoritmos de cálculo de rotas, permitem que estes se desloquem apenas aos contentores que estejam mesmo cheios, poupando assim combustível e tempo [51].

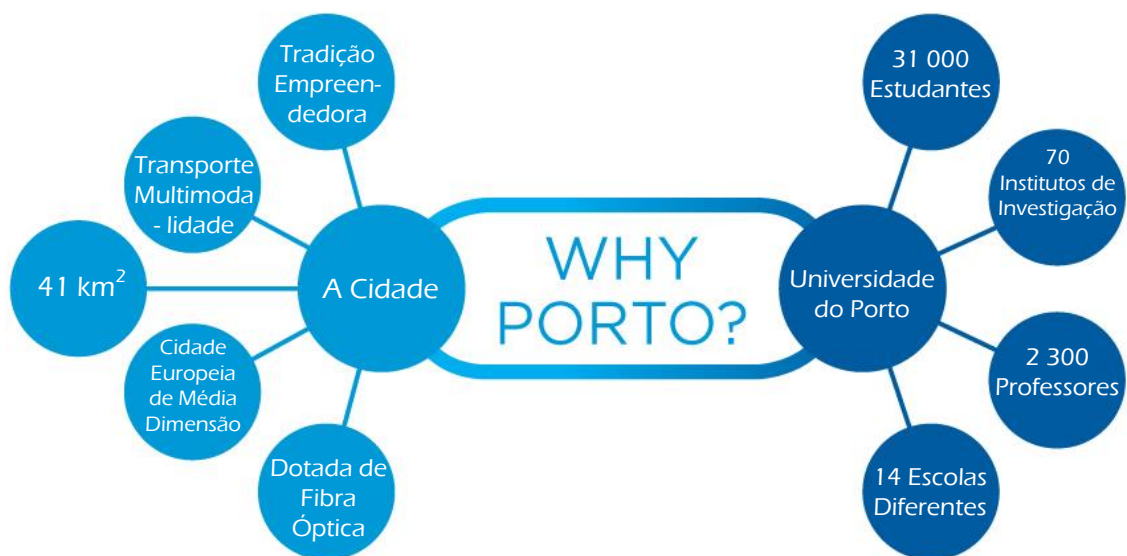


Figura 2.13 - Condições que tornam o Porto uma cidade inteligente [50]

Capítulo 3

Veículos Elétricos

Os transportes e mobilidade representam uma importante parcela das economias mundiais e são algo indispensáveis à forma como vivemos e nos organizamos. Hoje em dia, os transportes representam aproximadamente 30% dos consumos energéticos em Portugal e na Europa. Os veículos rodoviários que dominam por completo o mercado são os de motor de combustão interna cujo processo de transformação da fonte primária em trabalho leva à sua contribuição para a emissão de gases poluentes e consequentemente para o efeito de estufa, com efeitos muito prejudiciais para o ambiente. Os gases de escape são constituídos essencialmente por CO₂, CO, hidrocarbonetos, SO₂ e NO_x. A alternativa de veículo elétrico apresenta-se como uma tecnologia limpa, pois as emissões poluentes de um motor elétrico são inexistentes, com uma menor dependência dos combustíveis fósseis, cujos preços e reservas são atualmente um problema.

A discussão sobre a eletrificação dos transportes tem vindo a ganhar atenção devido à crescente necessidade em baixar os índices de poluição e erradicar a dependência da economia dos combustíveis fósseis. A investigação na área de veículos elétricos torna-se uma parte fundamental na integração e fusão entre os transportes e a indústrias elétrica.

O desenvolvimento dos veículos elétricos é uma das maneiras mais eficazes de resolver os problemas energéticos e ambientais. É sabido que os níveis de emissão de CO₂ podem ser fortemente afetados pela circulação de veículos abastecidos pela tecnologia elétrica. No entanto, ainda existem barreiras socio económicas e técnicas na adaptação da tecnologia. Para além disso, o crescimento na adoção de veículos elétricos levará a um aumento na procura de equipamentos elétricos (e.g. manutenção e oficina) e uma necessidade no crescimento de postos de abastecimento de forma a tornar a experiência automóvel o mais confortável possível.

De forma a conseguir uma integração efetiva dos veículos elétricos na indústria transportadora e elétrica não só é necessário a resolução de problema tecnológicos como

também a criação de regulamentações capazes de permitir uma evolução saudável e acessível. A escala de desenvolvimento e evolução dos veículos elétricos é uma tarefa sofisticada, de longo prazo, dinâmica e determinada por diferentes fatores, tais como a tecnologia, economia, política, desenvolvimento regional, etc. Em específico do domínio técnico existem fatores sensíveis nas características de armazenamento da bateria bem como na gestão do estado da bateria em diferentes modos de operação. Além disso, é fundamental tornar a utilização dos veículos elétricos economicamente interessantes para os condutores.

3.1 - História dos veículos elétricos

A história dos veículos elétricos começou há mais de 100 anos com dificuldade em indicar a sua invenção a uma investidora ou país em específico, pois é atribuída a várias pessoas, pelo que não se pode afirmar com certezas quem criou o primeiro modelo. Nos finais do século XIX, a França e Grã-Bretanha foram os primeiros países a apoiar o desenvolvimento e expansão desta forma de transporte, seguidos pelos EUA no início do século XX.

Em 1801, Richard Trevithick construiu a primeira carruagem a vapor, iniciando assim uma nova era de transportes sem cavalos. Após sensivelmente trinta anos de motores a vapor ruidosos e sujos, surgiu pelo húngaro Ányos Jedlik um modelo de automóvel de pequena escala, alimentado por um motor elétrico desenhado pelo próprio [52]. Na mesma altura, 1835, Thomas Davenport, um ferreiro de Brandon, construiu não só um carro elétrico de pequena escala como inventou a primeira corrente direta em solo americano num motor elétrico. Entre 1832 e 1839, o escocês Robert Anderson inventou uma carruagem elétrica [53]. No entanto, foi por volta de 1842 que apareceram veículos elétricos mais práticos e bem-sucedidos inventados por Thomas Davenport e o escocês Robert Davidson, que foram os primeiros a usar células ou baterias elétricas recém-carregadas, mas não recarregáveis. Em 1865, o francês Gaston Plante juntamente com o seu amigo Camille Faure inventaram uma bateria com uma maior capacidade de armazenamento elétrico por forma a tornar o uso de veículos elétricos mais práticos [53].

Aproximadamente 50 anos após o surgimento da primeira carruagem a vapor, em 1885, foi criado o primeiro veículo movido a gasolina. Deste modo, a ideia de veículo elétricos não é nova, sendo na verdade, 50 anos mais velha do que os veículos movidos a combustível fóssil. No entanto, devido ao seu preço mais elevado, menor velocidade máxima e menor autonomia quando comparado com os veículos com motor de combustão interna, infelizmente, o uso de veículos elétricos tornou-se impopular, até à década de 1970.

No final do século 19, a América viveu uma próspera época na indústria automóvel, com veículos de versões a vapor, gasolina e elétricos. Os anos de 1899 e 1900 foram o ponto alto dos carros elétricos na América, tendo estes superado todos os outros tipos de carro. Mais tarde, em 1916, a empresa Woods Motor Vehicle Company, em Chicago, inventou um

carro híbrido que tinha ambos, motor elétrico e de combustão, vendendo a sua patente à Toyota, que construiu o conhecido Toyota Prius, tornando-o no primeiro carro híbrido lucrativo da história. O carro permitia que os condutores fossem capazes de fazer longas distâncias usando gasolina e o motor elétrico para deslocamentos citadinos [54].

Os veículos elétricos tinham grandes vantagens em relação aos seus concorrentes que usaram motores de combustão [55]. Para além de uma condução mais suave, sem vibração, o cheiro e o ruído eram em nada equiparáveis ao resultado de ter um motor a gasolina. No entanto, por várias razões, a popularidade do veículo elétrico teve o seu declínio, devido principalmente ao sistema de estradas de longo percurso que exigiam veículos com uma maior autonomia, a descoberta do petróleo bruto, que reduziu o preço da gasolina tornando-a acessível ao consumidor médio, a invenção do motor elétrico por Charles Kettering em 1912, que eliminou a necessidade da manivela para iniciar os veículos de combustão, e finalmente a produção em massa de veículos de combustão interna pelo Henry Ford que baixando os custos de produção e consequentemente o preço de venda, tornou estes veículos mais acessíveis [56].

Com a construção das estradas de boa qualidade que ligavam grandes cidades, com a descida do preço da gasolina e com a invenção do motor de arranque, os veículos elétricos perderam força para os seus concorrentes, chegando mesmo a desaparecer do mercado entre 1930 e 1960. Isto deveu-se à sua pouca autonomia e ao seu longo período de recarregamento das baterias, enquanto que os veículos de combustão interna, tinham uma grande autonomia e uma grande facilidade para abastecer o depósito de combustível na sua totalidade [57].

3.2 - Veículos elétricos no presente

Desde o início do século XXI, pela necessidade de encontrar alternativas aos veículos com motor de combustão interna e devido a problemas que foram surgindo como o aumento do preço dos combustíveis fósseis, bem como degradação do ambiente com as emissões de gases de escape poluentes, os veículos elétricos tornaram-se novamente meios populares de mobilidade.

O financiamento na investigação e evolução da tecnologia elétrica na indústria automóvel tem vindo a ser suportada por fundos europeus e americanos ao longo dos tempos.

Em Janeiro de 1990 foi apresentado o carro elétrico *Impact*, um carro conceito, na feira dos automóveis de Los Angeles pela empresa *General Motors*, que seria posteriormente colocada à venda com o nome GM EV1. No mesmo ano, foi aprovada uma legislação no estado da Califórnia, em que as marcas produtoras de automóveis se viram obrigadas a desenvolver pelo menos um carro elétrico, surgindo assim os modelos *Chrysler EPIC minivan*, *Honda EV Plus*, *Nissan Altra EV* e *Toyota RAV4* [58].

A mais recente empresa no setor dos carros elétricos, Tesla Motor, surgiu no ano 2003 com carros elétricos de alto desempenho e alto custo. O carro Tesla Roadster foi baseado no

Lotus com um design desportivo e atraente. Apesar do elevado preço, os custos de produção não permitiram à Tesla ter uma produção rentável. O Modelo S foi desenhado e construído para alcançar grandes massas com o seu design de 4 portas e facilidade de uso, sendo até ao momento o carro elétrico com o melhor desempenho, superando os poderosos Mercedes e BMWs em aceleração e estabilidade.

Nos dias de hoje, a história repete-se e, mais uma vez, os veículos elétricos estão a ganhar popularidade e a conquistar o mercado convencional de transportes. Exemplos como o Tesla Modelo S, o Nissan Leaf, o Honda Insight e o Chevy Volt são casos de sucesso que provam o crescimento da indústria de automóveis elétricos.

O veículo elétrico representa muito mais que o avanço tecnológico, sendo que este pode ser uma das principais soluções para os grandes problemas da poluição e aumento da população mundial. Com o aumento do número de pessoas nas cidades assistimos a fenómenos tais como o aumento da poluição, quer ambiental, quer sonora, bem como o aumento do congestionamento [59].

A crescente utilização dos veículos elétricos vem reduzir substancialmente os níveis de poluição ambiental e sonora, porém, por si só, não será suficiente para acabar com o problema de congestionamento [60].

A promoção do uso dos transportes públicos é fundamental para reduzir ainda mais os problemas inerentes à urbanização. De modo a reduzir o número de veículos em circulação deve ser também considerada a partilha de veículos, modalidade denominada por *Car Sharing* [61], um sistema que consiste na distribuição de veículos elétricos em diferentes locais da cidade, tais como zonas residenciais, zonas industriais, áreas próximas de estações de comboios, etc. Através de uma aplicação os clientes podem ver quais os veículos que estão disponíveis naquela zona, utilizar o veículo para fazer o seu percurso e depois deixar o veículo em qualquer outro ponto da cidade, que esteja destinado a estes veículos [62].

Em 2011 a Deloitte analisou as expectativas dos consumidores em relação aos veículos elétricos, verificando que 4% dos inquiridos se encontravam satisfeitos em termos de autonomia, tempo de carregamento e preço de aquisição quando comparados com as alternativas do mercado atuais [63].

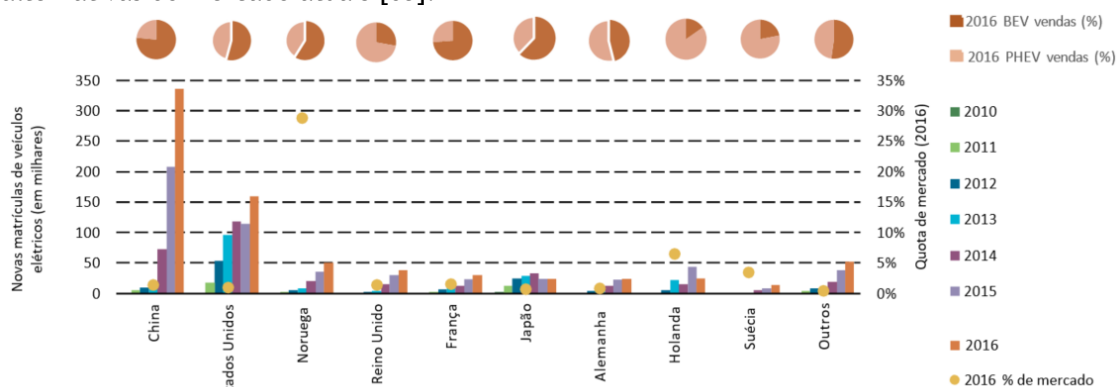


Figura 3.1 - Evolução da utilização mundial de veículos elétricos

A nível das diferentes configurações de cadeia cinemática na mobilidade elétrica pode dividir-se em 5 principais tipos, que são comparados na Figura 3.2 com o veículo convencional com motor de combustão interna:

- **Híbrido Paralelo**, os dois motores, de combustão e elétrico estão instalados de modo a fornecer a energia para a locomoção do veículo, de forma isolada ou em conjunto. Ambos os motores transmitem o movimento às rodas através de um sistema de embraiagem controlado automaticamente e que pode utilizar em conjunto, ou de forma alternada a potência do motor de combustão e do elétrico [65].
- **Híbrido em Série**, o motor elétrico é o responsável pela locomoção do veículo, sendo que o motor de combustão apenas aciona um gerador responsável por gerar energia quando o nível de energia da bateria é insuficiente não existindo nenhum acoplamento mecânico ao veículo [66].
- **Híbrido Plug-in**, os dois motores podem atuar em simultâneo, mas também há possibilidade de o veículo funcionar apenas com o motor elétrico. A energia é armazenada na bateria, que pode ser carregada através da ligação à corrente elétrica ou através da utilização do motor de combustão interna. Com uma autonomia que depende da dimensão da bateria e da configuração mecânica (série ou paralelo). [66].
- **Fuel Cell Electrical Vehicle (FCEV)**, os veículos são movidos apenas por propulsão elétrica, porém, a energia elétrica é produzida através de uma célula de combustível. As células de combustível utilizam habitualmente hidrogénio, emitindo apenas água e calor. O hidrogénio usado pode ser produzido através de diversas fontes tais como gás natural ou por processos de eletrólise. Esta tecnologia requer uma infraestrutura de abastecimento de hidrogénio aos veículos [65], [66].

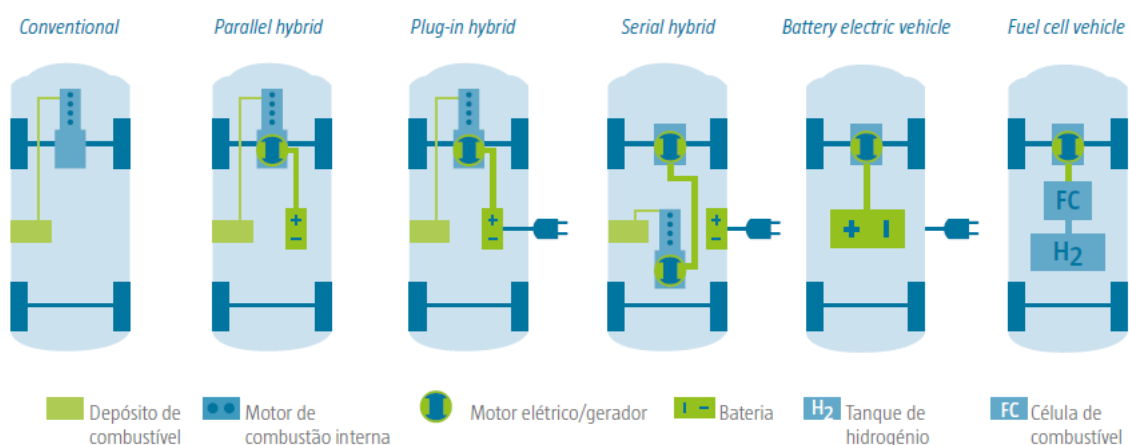


Figura 3.2 - Configurações de cadeia cinemática [64]

- **Battery Electric Vehicle (BEV)**, são os veículos estudados neste trabalho. Nesta tecnologia toda a propulsão é fornecida por um motor elétrico alimentado por uma bateria. Possuem apenas um único sistema de armazenamento, a bateria, sem a possibilidade de gerar eletricidade em andamento. A única forma de carregar o veículo é através da ligação a uma fonte de carregamento própria, como iremos abordar no sub-capítulo 3.3 [66].

3.2 - Baterias dos veículos elétricos

O bloco de construção mais problemático de qualquer veículo a motor elétrico é a fonte de energia elétrica - a bateria. A bateria define as características mais importantes do veículo: a energia total disponível (isto é, a sua autonomia), e também a velocidade e aceleração possíveis (ou seja, a potência instantânea máxima) [67].

As baterias dos veículos elétricos têm vindo a sofrer uma grande evolução ao longo dos anos, mas ainda assim continuam a representar um dos maiores desafios na aceitação dos veículos elétricos. Apesar de apresentarem melhor tecnologia de dia para dia, ainda existem uma série de desafios a ultrapassar, tais como, o preço, a segurança, a sua baixa densidade energética, o tempo demorado do seu carregamento e um período de vida útil inferior em relação a outros componentes do veículo elétrico [68].

Na Figura 3.3 retirada do relatório “*Global EV Outlook 2017*” está representada a evolução do preço e da densidade das baterias.

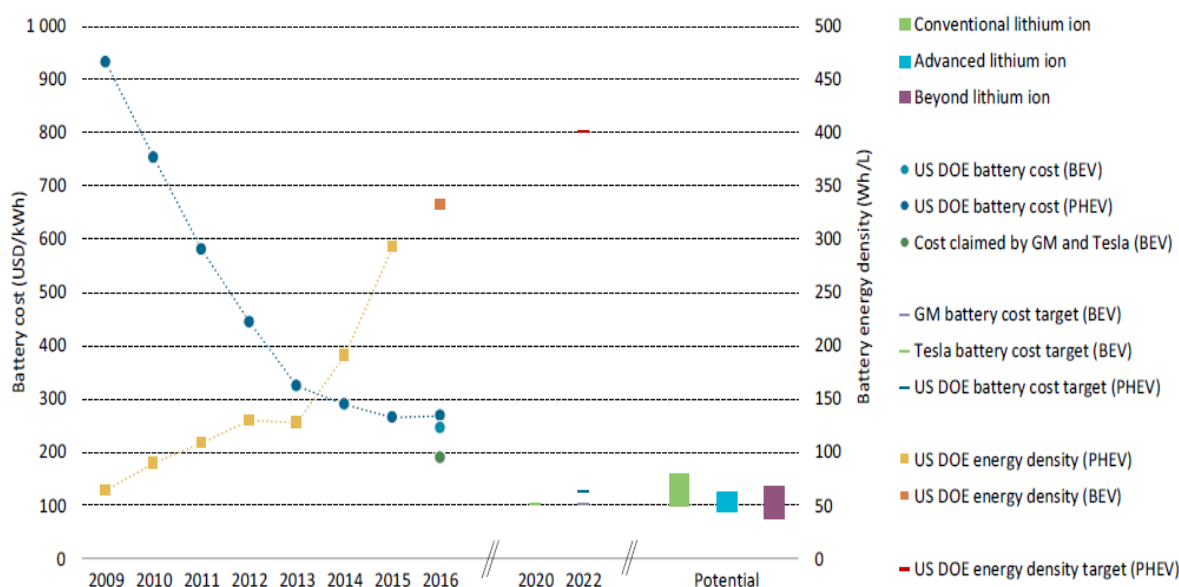


Figura 3.3 - Evolução do preço e densidade das baterias

O preço ficou três vezes mais barato de 2009 a 2016, sendo que no mesmo período de tempo as mesmas ficaram seis vezes mais densas. A tendência é que estes valores continuem a evoluir neste sentido, com as baterias a ficarem cada vez mais baratas e armazenando cada vez mais energia para um menor tamanho das mesmas.

Atualmente, com preços que variam entre os 600 e os 800 euros por kWh, as baterias representam entre 23% a 58% do preço dos veículos elétricos [66]. A perspetiva é que o preço das baterias continue a baixar para valores entre os 150 a 200 euros por kWh nos próximos 5 a 10 anos [69] [70].

A nível de tempo de carregamento das baterias, tem-se verificado um grande investimento de por parte de grandes produtoras, tais como o novo Nissan Leaf com uma autonomia de 378 km com a possibilidade de obter até 80% de carga da bateria num período de 30 minutos, num posto de carregamento rápido [71]. Outro exemplo, um pouco mais caro é o novo modelo S da Tesla, que já consegue uma autonomia de 594 km com um carregamento [72].

Dentro dos diferentes tipos de baterias existentes, as baterias de iões de lítio são as mais utilizadas.

É devido à sua alta densidade de energia, alta densidade de potência e longa duração de vida útil, comparativamente com as outras opções de mercado, que as baterias de iões de lítio se tornaram a fonte de energia mais utilizada na fabricação de veículos elétricos. A capacidade de uma bateria leve para veículos elétricos está na faixa de 6 kWh a 35 kWh [73]. O tempo estimado de carregamento para baterias de carga lenta é de 14 horas enquanto que para baterias de carregamento rápido a duração é de 1 hora. Dado que as baterias de iões de lítio são a principal opção para o grupo mais recente de veículos elétricos em desenvolvimento [74], neste trabalho, considera-se que os veículos elétricos estudados utilizem baterias de iões de lítio.

Na União Europeia apenas 5% das baterias de iões de lítio são recicladas [75], o que pode trazer graves consequências ambientais. Não só devido à extração de lítio como ao risco de dano e consequente emissão de gases nocivos das baterias que deixam de ser utilizadas. Contudo, quando a bateria dos veículos elétricos atinge o fim da sua utilidade para o veículo, não conseguindo fornecer a autonomia e aceleração que o veículo requer, esta ainda possui 80% da sua capacidade de armazenamento, o que representa cerca de 2000 ciclos [76]. Posto isto, a bateria que deixa de servir para o veículo elétrico pode ser reutilizada para armazenamento doméstico, servindo por exemplo para o aquecimento das habitações.

O desenvolvimento da tecnologia de baterias é essencial para substituir o uso de combustível fóssil no sector dos transportes. Os veículos elétricos irão requerer uma infraestrutura de carregamento rápido, uma bateria com alta capacidade de armazenamento e alta potência de longa duração, segurança e baixo peso [77].

No entanto esta tecnologia ainda tem algumas limitações. A gama de um veículo com bateria é influenciada pelas condições climáticas (nem um clima muito frio nem um clima muito quente são propriamente adequados), o ciclo de condução e a tecnologia utilizada

[77]. É necessária uma distribuição de temperatura uniforme das células da bateria para garantir um bom desempenho e a preservação dessa mesma bateria. Além disso, a temperatura máxima não deve exceder 25 °C, de modo a não diminuir a condição e a eficiência da bateria [78].

3.3 - Carregamentos

Uma abrangente mudança da rede elétrica tradicional para uma nova rede inteligente - smart grid - estará em curso nos próximos anos. Esse tipo de transição passa por uma evolução de um fluxo de energia radial típico para sistemas novos com maior complexidade, mas com melhores recursos, como maior eficiência, melhor incidência de geração distribuída, melhor preservação do meio ambiente, e maior fiabilidade. O chamado novo paradigma da smart grid abrange estratégias com o foco nas necessidades energéticas deste século e, posteriormente, para realizar tais melhorias. A noção de smart grid tem um papel notável na comunidade científica internacional e na política energética da União Europeia [79]. O recente progresso na investigação da smart grid prevê a conexão das energias provenientes das fontes renováveis distribuídas e veículos elétricos à rede de energia e aborda os inúmeros desafios técnicos que advêm de um novo paradigma e, portanto, precisam ser estudados adequadamente [80].

Durante a duração da procura nas horas de ponta, o carregamento do veículo elétrico adiciona carga à rede elétrica, o que requer o aumento da capacidade de geração de energia ou o uso de fontes alternativas para atender a procura [81].

A elevada procura de energia elétrica de veículos elétricos, por um lado, e seu número crescente, por outro, irão impor uma carga significativa nas futuras redes elétricas, sejam elas smart ou não. Esta carga, se não for controlada, pode causar desvios de frequência e até instabilidade do sistema de energia [82].

Sendo assim, as indústrias começaram a concentrar-se especialmente no carregador de bateria, que atua como a interface principal entre a fonte de energia elétrica e os veículos elétricos [81]. Pois complicações ao carregar as baterias irão limitar o seu custo e o ciclo de vida dos veículos elétricos.

Por forma a aumentar o interesse nos veículos elétricos tem-se trabalhado no sentido de aumentar o número de postos de carregamento disponíveis [83].

No entanto, a maioria das estações de carregamento disponíveis são de carregamento lento - tempo estimado de carga da bateria de 7 a 12 horas [84].

Devido ao elevado custo por ponto de carga, ainda existe um número muito reduzido de estações de carregamento rápido - tempo estimado de carga da bateria de 3 a 4 horas [84].

3.3.1 - Carregamentos em Instalações domésticas

A esmagadora maioria das ligações existentes nos locais domésticos não foi desenhada para efetuar o carregamento de veículos elétricos. Mas, embora com algumas limitações, é possível efetuar o carregamento nestas infraestruturas.

Os carregamentos efetuados em instalações domésticas é um carregamento lento, sendo, portanto necessário um grande número de horas para efetuar o carregamento da bateria do veículo, o que implica uma adaptação dos consumidores [85].

Esta modalidade de carregamento está destinada a ser realizada em horário noturno, mediante a tarifa Bi-horária contratada.

3.3.2 - Carregamentos no local de trabalho

Há vários trabalhos já realizados que estudaram o design de uma estação de carregamento de veículos elétricos através de painéis fotovoltaicos [86]-[88].

Como mostrado em [89] e [90], o uso de energia solar no carregamento dos veículos elétricos trás benefícios mútuos, permitindo uma maior penetração de ambas as tecnologias. Os efeitos negativos de uma geração excessiva de energia solar através de painéis fotovoltaicos [91], podem ser atenuados através do seu aproveitamento para o carregamento de veículos elétricos. Especialmente se a tecnologia for aplicada para carregamento no local de trabalho, como mostra em [90].

A maior desvantagem no carregamento de veículos elétricos através de painéis fotovoltaicos está relacionada com a variabilidade da sua produção. O carregamento inteligente baseia-se numa flexibilidade de carregamento do veículo elétrico, adaptando-se à produção fotovoltaica. Combinada com a tecnologia V2G, o carregamento inteligente tem o duplo benefício de aumentar o autoconsumo fotovoltaico e reduzir o pico de procura na rede [92].

Outro método para colmatar a variação da energia solar fotovoltaica é através do armazenamento no local da estação de carregamento do veículo elétrico [93], [94].

Quando há excesso de energia solar esta é armazenada e quando a geração solar é insuficiente a energia armazenada previamente é utilizada para carregar o veículo [93].

3.3.3 - Postos de carregamento em Portugal

No panorama nacional contamos com 598 postos de carregamento, sendo que destes, 63 são postos de carregamento rápido, distribuídos entre cidades e autoestradas.

Segundo dados da MOBI.E, desde 2010, em Portugal, já foram consumidos 3 709 645 kWh de energia em 463 435 carregamentos efetuados. Valores que representam uma redução na emissão de CO₂ de 2 454 858 kg/CO₂ [95].

Estes números ainda são pouco ambiciosos e muito inferiores ao trabalho desenvolvido noutros países da Europa. No Reino Unido, a Nissan estima que, já no final desta década, o número de postos de carregamento para veículos elétricos seja superior ao número de postos de combustível [96].

3.4 - Tecnologia V2G

As tecnologias que permitem a conexão e recarga do veículo a partir de um terminal são chamadas Grid-to-vehicle (GtoV ou G2V): a eletricidade passa da rede para o veículo (modelo unidirecional) e o último é considerado como um consumidor de eletricidade [97].

No entanto a bateria de bordo do veículo elétrico também pode ser usada para armazenar energia [98], uma vez que um veículo privado gasta a maior parte do tempo estacionado. De acordo com a EDF (Électricité de France), 50% dos veículos estão permanentemente estacionados em casa e 69% dos ativos permanecem estacionados a cerca de 6 horas por dia em média em um espaço reservado. A rede poderia recorrer à bateria que a eletricidade necessitava para atender à elevada procura (no pico do consumo no início da noite, por exemplo) ou para compensar a falta de produção (quando o tempo não permite explorar a energia de fontes renováveis, por exemplo). Embora a capacidade da bateria seja limitada, os veículos elétricos são adequados para serviços auxiliares de curta duração, dado o pequeno tempo de resposta, bem como o menor tempo de espera e os custos de capital mais baixos [99]. Isso é chamado de Vehicle-to-grid (V2G): o veículo elétrico fornece eletricidade à rede de acordo com as necessidades do sistema elétrico (modo bidirecional) e deste modo garante um serviço de maior flexibilidade.

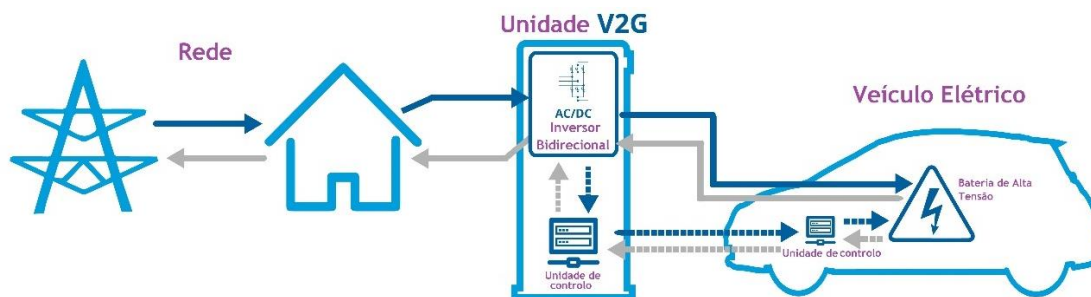


Figura 3.4 - Esquema da tecnologia V2G [100]

De modo a tornar os veículos elétricos compatíveis com o V2G, é necessário implementar a tecnologia adequada para carga e descarga da bateria. É necessário, também, preparar a rede para questões de gestão de carga, frequência da rede e contabilidade de custos. Os comportamentos típicos de uso da rede bem como o seu tráfego habitual devem ser cuidadosamente levados em consideração para colocar o V2G em prática [101].

Com o fornecimento do veículo elétrico para armazenamento de energia temporário, o proprietário pode obter lucro no mercado de eletricidade e usufruir de menores custos de aquisição e manutenção do seu veículo elétrico. Se o consumidor possuir um sistema de armazenamento de energia solar na sua residência, ele pode utilizar essa energia para fornecer a casa e o veículo elétrico, sem necessidade de recorrer à energia fornecida pela rede, e fazendo uma condução completamente livre de emissões [102].

Semelhante às fontes de energia renováveis, a penetração em larga escala de veículos elétricos que se comportam como cargas flexíveis terá um impacto significativo no sistema elétrico e o potencial para aumentar a carga máxima desse mesmo sistema se não for gerido de um modo adequado [85]. Assim sendo, se os problemas não forem abordados adequadamente, então poderá resultar numa diminuição da qualidade de energia e num aumento no custo de operação para a procura nas horas de ponta. Assim, para melhorar a qualidade de energia do sistema, os problemas devem ser devidamente abordados [103].

No entanto, se a carga e/ou descarga de veículos elétricos for gerida adequadamente, não só é possível mitigar esses problemas, mas também é possível beneficiar de muitas funções auxiliares, tal como as reservas distribuídas para a energia renovável [104]. A energia que acaba por ser injetada através de V2G permite assim apagar uma porção dos picos de consumo onde uma grande quantidade de energia de proveniência fóssil é consumida. A capacidade de armazenamento do veículo elétrico ajudará a fortalecer a estabilidade da rede elétrica e facilitará a integração das energias renováveis [105].

O número de veículos elétricos vendidos a cada ano está a aumentar devido à variedade de tipos e modelos introduzidos no mercado pelos fabricantes de automóveis. Embora, no momento, os veículos elétricos comerciais não sejam ainda desenhados com uma funcionalidade abrangente do V2G, poderá estar disponível como um recurso opcional no futuro próximo, a um custo extra [106].

O V2G é mais um avanço tecnológico na senda de outras iniciativas tais como o “carregamento inteligente” ou o uso inteligente de energia (método que consiste na redução do consumo nas horas de pico), que têm como finalidade alterar a forma como os consumidores, quer individuais quer empresas, consomem a energia. Por tudo isto, a revolução da mobilidade elétrica está indubitavelmente associada a uma nova cultura de consumo de energia.

Embora o uso do conceito V2G represente vários benefícios para a rede, ao implementar este conceito necessita-se de ter em conta uma variedade de considerações, tais como [107]:

- A rede elétrica foi inicialmente desenvolvida para um fluxo de energia "de cima para baixo". Então, o fluxo de energia inversa pode causar vários problemas para a rede como está desenhada atualmente.
- O conceito de V2G poderá auxiliar no controlo de tensão, no entanto poderá também trazer problemas ao fazê-lo, visto que os veículos elétricos que oferecem V2G podem empurrar potencialmente a tensão da rede para cima antes que o transformador transite para o próximo passo discreto e baixe novamente a tensão.
- A sincronização entre veículo e rede é uma questão importante que deve ser considerada para a injeção de energia na rede.
- A implementação do conceito V2G precisa das infraestruturas para o efeito, como os conversores bidirecionais.

3.5 - Impacto na rede

Ao enfrentar um número cada vez maior de veículos elétricos conectados a sistemas de energia para carregar, uma preocupação real surge devido ao facto de que as redes de distribuição existentes se poderem tornar mais congestionadas do que o que se esperava delas quando foram projetadas décadas atrás. Os baixos níveis de penetração de veículos elétricos podem resultar num impacto reduzido, mas, à medida que o número de veículos elétricos aumenta, poderá haver uma possibilidade real das redes de distribuição locais se tornarem mais congestionadas [108].

Num hipotético evento de carga simultânea de um grande número de veículos elétricos pode levar a falhas na rede e pôr em causa a segurança e capacidade disponíveis. Tais ocorrências podem ser evitadas, se os veículos elétricos estiverem devidamente integrados na rede. Incorporar os veículos elétricos dentro da rede é uma oportunidade significativa, se o controlo do carregamento for feito corretamente. Sem a integração acima mencionada, a rede poderá sofrer quedas de tensão, congestionamentos de alimentação, sobrecargas de linha, etc [109].

O carregamento constante e diário durante o dia adicionará cargas extras ao sistema de distribuição resultando em aumentos do consumo de energia. Visto que os carregadores de bateria são feitos de dispositivos eletrónicos de estado sólido, estes irão produzir correntes harmónicas que afetam e diminuem a vida útil do transformador [110].

Estes problemas implicam a introdução de medidas de controlo da rede, que caso não sejam adotadas podem levar à necessidade de um grande investimento a fim de reforçar a rede [111].

Em [111] são estudados os resultados do impacto provocado por veículos elétricos numa típica rede de distribuição de média tensão, bem como uma estratégia de carregamento desenvolvida de modo a permitir a introdução de um grande número de veículos elétricos nessa mesma rede, sem nenhum reforço na infraestrutura.

Por outro lado, há estudos que consideram que o V2G pode ter um impacto positivo na rede, tal como a integração de energias renováveis no sistema elétrico de energia [84].

3.6 - Metas e desafios

Hoje, o mercado de veículos elétricos ainda é pouco desenvolvido por causa dos altos custos dos veículos, baixa disponibilidade de estações de carga, baixa autonomia e a incerteza dos consumidores quanto à maturidade da tecnologia [77].

Apesar da revolução do veículo elétrico ser já uma realidade, esta podia e devia estar a acontecer mais rapidamente.

Através de um questionário feito pela *Ovo Energy* a mais de 2000 pessoas [112], os principais entraves na afirmação dos veículos elétricos são:

- 1) o número reduzido de postos de carregamento - 56%
- 2) o elevado preço dos veículos elétricos - 49%
- 3) o tempo de duração da bateria - 45%
- 4) o tempo que o veículo elétrico demora a carregar- 43%
- 5) o custo de manutenção do veículo elétrico - 38%
- 6) a preocupação com a segurança - 16%
- 7) a estética dos veículos elétricos - 12 %
- 8) não há razão para comprar um veículo elétrico - 9%
- 9) o estacionamento urbano - 8%
- 10) sobrecarga da rede elétrica - 6%

Apesar de os consumidores já mostrarem algum conhecimento em relação aos veículos elétricos, ainda há muito trabalho a fazer no que toca à informação aos consumidores sobre os benefícios dos veículos elétricos.

Em Portugal, as pesquisas sobre veículos elétricos no motor de buscas mais utilizado, a Google, tem vindo a aumentar substancialmente. O valor máximo de popularidade foi atingido na semana de 15 a 21 de Outubro de 2017. [113]

Através de nova legislação, a união europeia, de que Portugal é parte integrante, estabeleceu metas obrigatórias para a redução de emissões de gases poluentes. Em 2021 a média a ser alcançada pelas frotas de novos carros é de 95 gramas de CO₂ por quilómetro. Isto significa um consumo de cerca de 4.1l/100 km de gasolina ou 3.6l/100km no caso do diesel [114]. A meta para 2021 representa uma redução de 40% quando comparada com a média da frota de 2007 que apresentava valores nos 158.7g/km [114].

Para que as metas definidas no acordo de Paris sejam cumpridas, com a finalidade de manter o aquecimento global abaixo dos 2°C, até ao ano de 2040 o número de veículos elétricos em circulação no planeta tem atingir os 600 milhões [115].

Capítulo 4

Descrição do Modelo

Como base de trabalho para esta dissertação usou-se um modelo baseado num sistema V2G com o intuito de regular a frequência de uma micro-rede durante o período de um dia completo, sendo que o modelo está programado para fazer uma rápida simulação de um cenário de 24 horas. Este modelo em que o estudo se baseou é adaptado de [116] sendo utilizadas as normas do sistema americano, e pode ser observado na figura 4.1. As condições climáticas de radiação solar e velocidade do vento usadas como input para o modelo são as registadas no dia 14 de Julho de 2017 e dia 2 de Fevereiro de 2017 na cidade do Porto. O modelo foi simulado com a frequência de 60 Hz para a qual o modelo foi projetado.

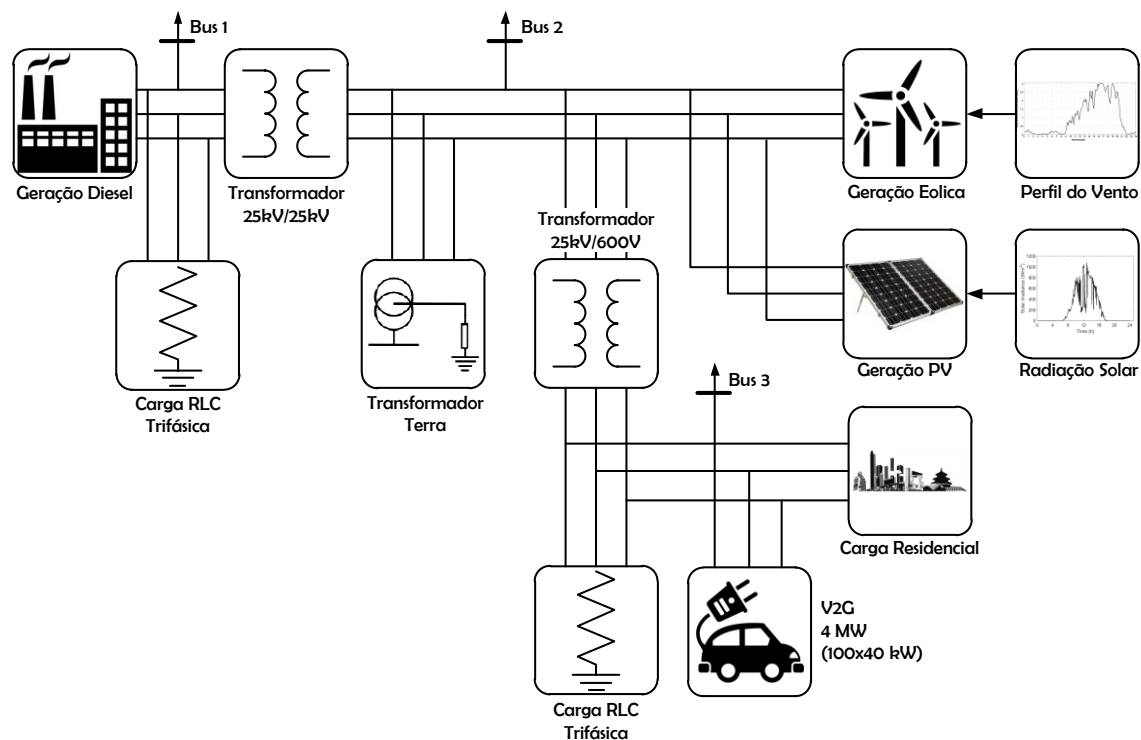


Figura 4.1 - Rede elétrica com tecnologia V2G e geração de energias renováveis

Esta micro-rede é constituída por quatro importantes partes: o gerador a diesel, que é o principal gerador de energia; a produção de energia eólica e produção de energia solar, que são a fonte de energia renovável; e um sistema V2G que representa a carga da rede.

A micro-rede está projetada para uma comunidade com cerca de 1000 habitações, durante um período de baixo consumo. Neste modelo existem 100 veículos elétricos, o que representa uma proporção de 1:10 entre os veículos elétricos e os agregados familiares, um cenário expectável num futuro próximo.

Gerador a diesel

O gerador a diesel, com 15 MW, estabelece o equilíbrio entre a energia produzida e a energia consumida. É possível determinar o desvio de frequência da rede através da velocidade do rotor da sua máquina síncrona.

Energia Renovável

A produção de energia solar, de 8 MW e produção de energia eólica, de 4.5 MW constituem as fontes de energia renovável deste modelo.

A produção de energia solar é diretamente proporcional com três fatores: a área abrangida pelos painéis solares, a eficiência dos painéis e os valores da intensidade da radiação solar. A eficiência dos painéis usados neste modelo é de 10%, visto que a maioria dos painéis atualmente instalados nas casas portuguesas têm eficiências semelhantes.

A produção de energia elétrica através de energia eólica segue uma relação linear com a velocidade do vento.

V2G (Vehicle to grid)

A tecnologia V2G, com 4 MW, tem dois propósitos: controla a carga das baterias ligadas à rede e utiliza a energia disponível para regular a rede aquando da ocorrência de um evento.

Estão implementados cinco diferentes perfis de utilizadores do veículo elétrico:

- **Perfil 1:** o utilizador vai trabalhar e tem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho. Com 35 veículos elétricos, este é o perfil que representa mais utilizadores;
- **Perfil 2:** o utilizador vai trabalhar e tem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho, mas a distância é maior que no caso anterior. Este é o perfil de 25 dos utilizadores de veículo elétrico;

- **Perfil 3:** o utilizador vai trabalhar sem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho. 10 utilizadores do veículo elétrico possuem este perfil;
- **Perfil 4:** o utilizador do veículo elétrico fica em casa. Há 20 utilizadores de veículo elétrico nesta condição;
- **Perfil 5:** o utilizador do veículo elétrico trabalha no turno da noite. Para este perfil, há 10 utilizadores do veículo elétrico.

Carga

A carga é constituída pela carga residencial de 10 MW, e uma máquina assíncrona usada para representar o impacto de uma carga industrial indutiva na micro-rede.

A carga residencial segue um perfil de consumo com um fator de potência previamente determinado para este modelo. Enquanto que a máquina assíncrona é controlada pela relação quadrada entre o torque mecânico e a velocidade do rotor.

Cenário

A simulação deste modelo está projetada para uma duração de 24 horas.

O consumo é baixo durante o dia e obtém o seu pico após um aumento durante a noite, voltado a reduzir gradualmente durante a madrugada.

A carga residencial segue um padrão típico semelhante ao consumo doméstico normal.

Os valores da intensidade solar e da velocidade do vento foram recolhidos para um dia de Inverno e outro de Verão, sendo que se verificam valores diferentes nos dias escolhidos. A comparação entre os resultados obtidos no Verão e no Inverno pode ser observada no Capítulo 5, Análise de Resultados.

Neste modelo um evento acontece exatamente às 3 horas pois é quando a máquina assíncrona entra em funcionamento.

Os valores da velocidade do vento e da radiação solar usados para a simulação deste modelo foram retirados em [117], para os dias 14 de Julho de 2017, dia de Verão com muita radiação solar e vento reduzido. Para o dia de Inverno, foram recolhidos dados de [118], dia 2 de Fevereiro de 2017, com valores mais baixos da radiação solar e valores da velocidade do vento mais elevados. Os valores dos dois dias foram ambos recolhidos da estação meteorológica da Câmara Municipal do Porto/Serviço Municipal de proteção civil.

4.1 - Figuras dos dados recolhidos

4.1.1 - Dados obtidos no dia 2 de Fevereiro de 2017

Através da Figura 4.2 pode-se concluir que existe uma grande variação na intensidade do vento ao longo do dia, principalmente no intervalo temporal entre as 0 horas e as 15 horas, onde se registaram vários picos de velocidade que chegam a velocidades de quase 8m/s sendo imediatamente seguidos de valores que chegam a ser inferiores a 1m/s. Em contraste entre as 15 horas e as 24 horas registam-se valores menores e com uma variância substancialmente menor, os valores de velocidade estão contidos num intervalo entre os 0m/s e os 2m/s.

Estes valores vão de acordo com o esperado uma vez que foram recolhidos durante a estação do Inverno, onde é recorrente haver grandes oscilações na intensidade do vento.

Analisando a Figura 4.3 relativa à variação da radiação solar vê-se que a exposição solar começa a notar-se com fraca intensidade aproximadamente a partir das 7 horas. Até sensivelmente às 10 horas e 30 minutos a radiação solar é apenas residual, começando a aumentar de forma exponencial até aproximadamente às 12 horas onde atinge o seu pico com um valor a rondar os 600w/m^2 .

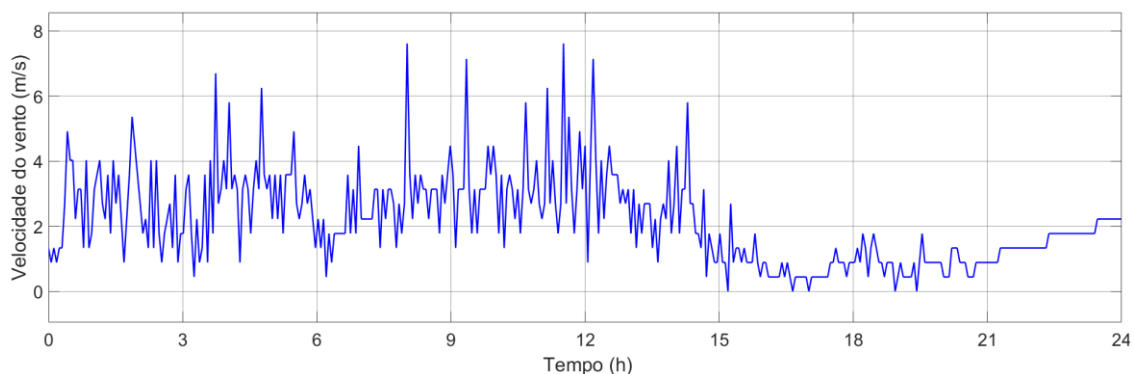


Figura 4.2 - Variação da velocidade do vento ao longo do dia 2 de Fevereiro de 2017

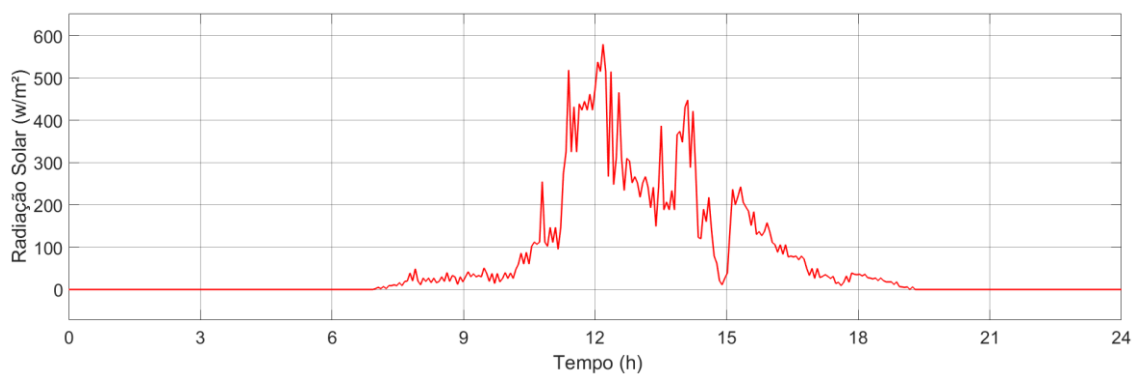


Figura 4.3 - Variação da radiação solar ao longo do dia 2 de Fevereiro de 2017

Os valores de radiação vão diminuindo gradualmente até 18 horas onde volta a ser residual e/ou inexistente. Os picos e algumas variações mais abruptas podem ser justificados por períodos de nebulização comuns nessa altura do ano, tal como as horas de exposição solar, entre as 7 horas e as 18 horas, valores comuns do Inverno e os menores do ano.

4.1.2 - Dados recolhidos no dia 14 de Julho de 2017

Na Figura 4.4, onde está representada a variação da velocidade do vento para o dia de Verão repare-se que existe uma baixa oscilação na velocidade do vento ao longo do tempo. A velocidade do vento encontra-se geralmente abaixo dos 1.5m/s, existindo alguns picos entre as 11 horas e as 18 horas, que apenas ultrapassam os 3m/s num pequeno número de ocasiões. Os valores vão de acordo ao esperado uma vez que são referentes ao pico do verão, onde o vento é escasso ou inexistente.

Através da Figura 4.5 pode-se concluir que a exposição solar começa a notar-se com fraca intensidade aproximadamente a partir das 6h. Até sensivelmente às 9h a radiação solar é apenas residual, sofrendo um aumento abrupto até a um valor próximo de $500\text{w}/\text{m}^2$, este pico pode ser justificado por alguma nebulização.

A partir das 9h até cerca das 13h30 a temperatura aumenta gradualmente atingindo o seu pico diário perto de $900\text{w}/\text{m}^2$ nessa hora.

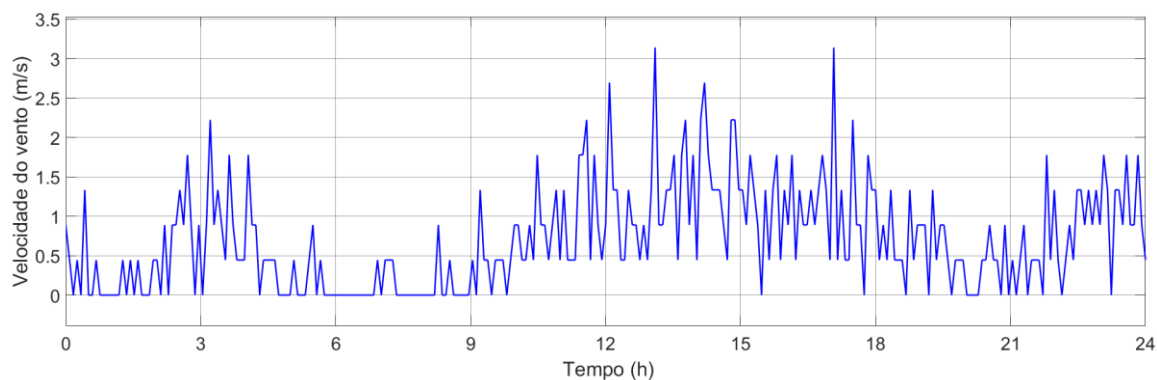


Figura 4.4 - Variação da velocidade do vento ao longo do dia 14 de Julho de 2017

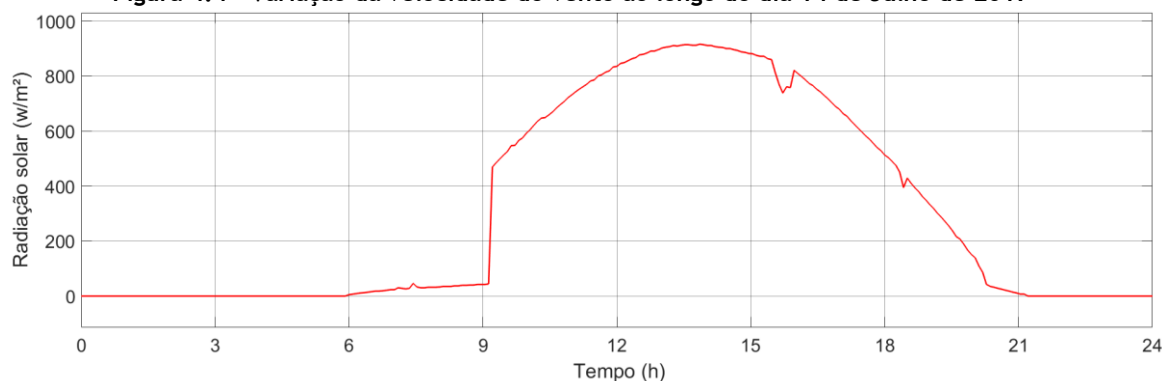


Figura 4.5 - Variação da radiação solar ao longo do dia 14 de Julho de 2017

De seguida observa-se uma diminuição progressiva da radiação solar até às 21h, onde o valor volta a ser residual e/ou inexistente. Os valores muito altos de radiação e as várias horas de exposição solar são comuns no pico do verão.

4.1.3 - Evolução do estado de carga das baterias

Na Figura 4.6 observa-se a variação do estado da bateria para os cinco diferentes perfis dos veículos elétricos. Quando o valor do estado da bateria se encontra perto de zero, ou é negativo, significa que o carro está em andamento ou que não está ligado à rede.

Na Figura 4.6 a) o utilizador vai trabalhar e tem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho; neste perfil verificamos que entre as 0 horas e as 6 horas a bateria se apresenta praticamente carregada, sendo que às 6 horas passa para valores abaixo dos 0% até às 8 horas, hora em que regressa a atingir valores de carga perto dos 90%, valores de carga em que a bateria se mantém até às 16 horas, onde volta, novamente, a passar um período de 2 horas abaixo dos 0%, até às 18 horas onde regressa a valores aproximados de 90% mantendo-se assim até às 24 horas.

Na Figura 4.6 b) o utilizador vai trabalhar e tem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho, mas a distância é maior que no caso anterior; o estado de carga da bateria passa 12 horas com valores aproximados de 90% entre as 0 e as 6 horas e das 18 às 24 horas, estando com valores ligeiramente abaixo de 0% entre as 6 e as 18 horas.

Na Figura 4.6 c) o utilizador vai trabalhar sem a possibilidade de carregar o seu veículo elétrico no local de trabalho; a variação do estado de carga da bateria neste perfil é idêntica à variação do perfil 1, sendo que neste caso o estado de carga da bateria se encontra 6 horas com valores abaixo dos 0% ao invés das 4 horas no perfil 1. Ou seja, o estado de carga da bateria apenas deixa de estar em valores aproximados de 90% entre as 5 e as 8 horas e mais tarde entre as 16 e as 19 horas.

Na Figura 4.6 d) o utilizador do veículo elétrico fica em casa; os valores mantêm-se as 24 horas com valores aproximados de 90%, sendo que aumenta gradualmente dos 90% aos 90,006% entre as 6 e as 24 horas.

Na Figura 4.6 e) o utilizador do veículo elétrico trabalha no turno da noite; neste perfil verificamos que o estado de carga da bateria se apresenta com valores de -100% entre as 0 e as 4 horas, passando depois para valores aproximados de 90% durante 16 horas seguidas, das 4 às 20 horas, e acaba o dia com valores ligeiramente abaixo dos 0% entre as 20 e as 24 horas.

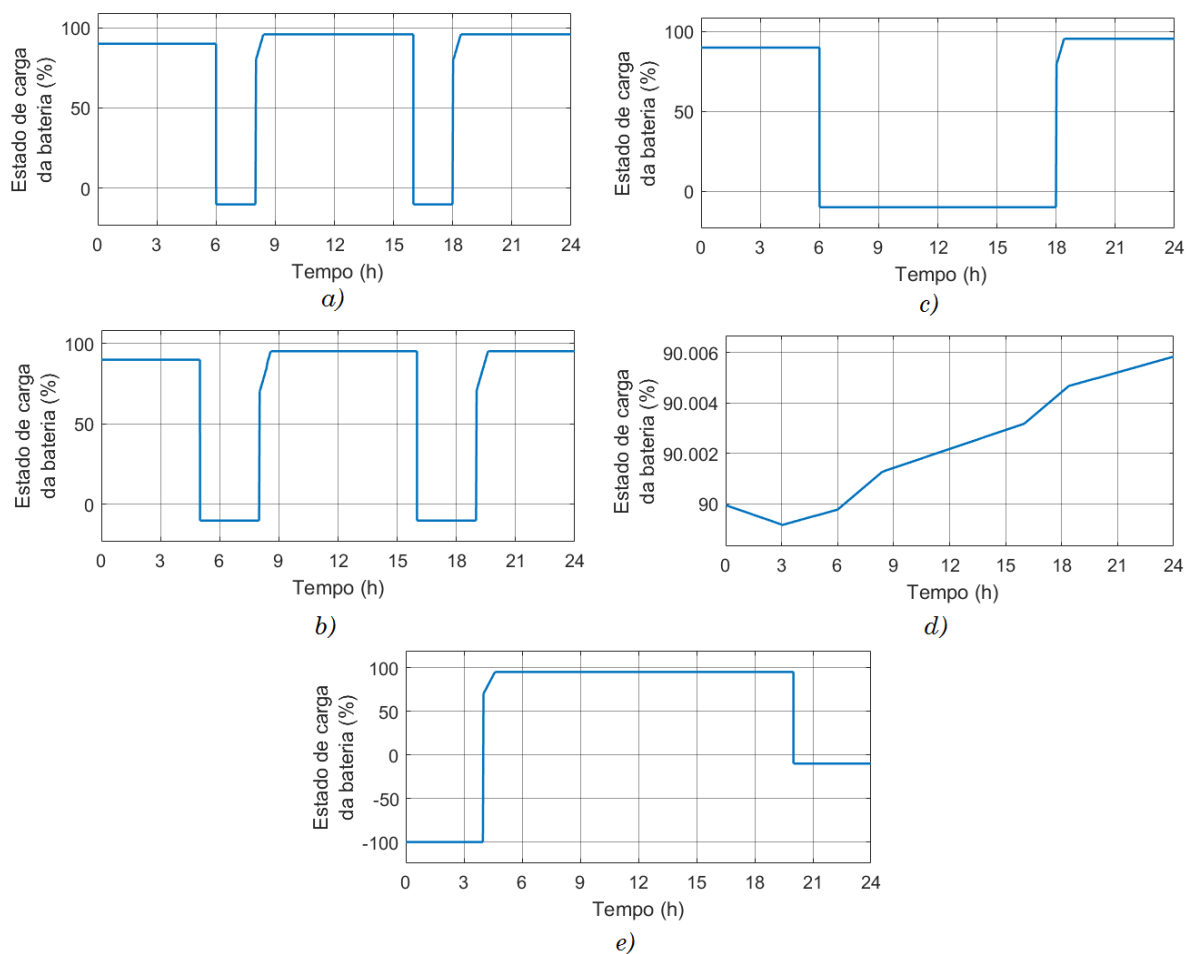


Figura 4.6 - a) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 1, b) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 2, c) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 3, d) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 4, e) Variação da carga da bateria para o utilizador com o perfil 5

Capítulo 5

Análise de resultados

Serve o presente capítulo para interpretar os resultados obtidos, e compreender as diferenças nos dados que se conseguiram nas duas simulações realizadas.

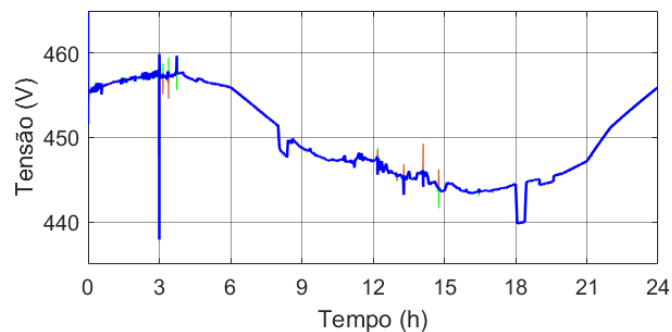
As figuras que se apresentam de seguida resultam da simulação no programa SIMULINK do MATLAB que estuda o impacto e variação da tensão, corrente e potência ativa na produção de energia eólica, produção de energia solar, energia fornecida para o carregar os veículos e na carga residencial.

As simulações foram feitas para um dia de Inverno, 2 de Fevereiro de 2017, [118], e um dia de Verão, 14 de Julho de 2017, [117], a fim de analisar a influência das diferentes quantidades de energia eólica e solar produzidas nestes dias.

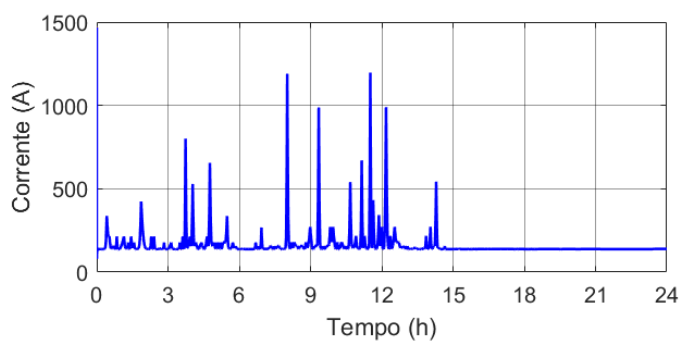
5.1 - Resultados obtidos para o dia 2 de Fevereiro de 2017

Na produção de energia eólica no dia 2 de Fevereiro de 2017 registamos, para a tensão Figura 5.1 a) pequenas variações, na ordem dos 20 Volt, dos 440 aos 460, entre as 0 horas e as 24 horas. A Tensão, decresce cerca de 20 Volt entre as 3 horas e as 18, hora em que ocorre uma pequena oscilação seguida de um aumento contínuo até às 24 horas. A principal oscilação ocorre à hora 3, no momento em que inicia a máquina assíncrona.

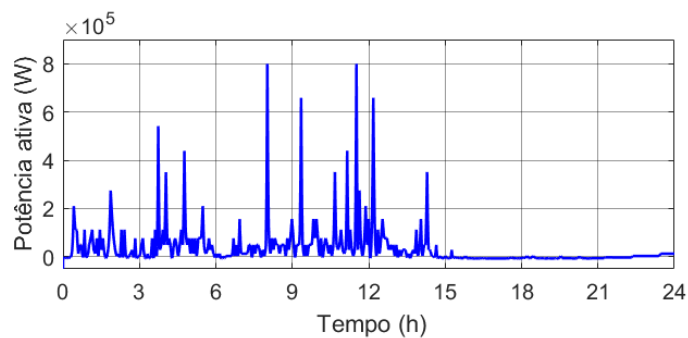
Para a corrente, Figura 5.1 b), os valores apresentam grandes oscilações entre as 0 e as 15 horas. Neste gráfico os valores de pico chegam aos 1200 Ampere, valor registado em 2 picos às 8 e 11 horas da manhã. Atingindo os 1000 Ampere em outros 2 picos às 9 e às 12 horas. A partir das 15 horas a corrente mantém-se constante até às 24 horas.



a)



b)



c)

Figura 5.1 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia eólica

A potência ativa, Figura 5.1 c), apresenta grandes oscilações entre as 0 e as 15 horas, sendo que essas oscilações atingem o pico de 800 000 Watt às 8 e às 11 horas. Valores bem mais elevados que aos registrados para o dia 14 de Julho de 2017, como se pode ver no subcapítulo 5.2. A partir das 15 horas até às 24 horas a potência ativa não apresenta oscilações de salientar.

Na Figura 5.2 a), tensão da produção de energia solar é crescente até à hora 3, momento em que arranca a máquina assíncrona, onde se regista uma grande oscilação seguida de uma curva de um decréscimo da tensão que passa dos 20 000 até perto dos 19 2500 Volt. O valor mínimo da tensão regista-se à hora 18, seguida de um aumento até às 24 horas.

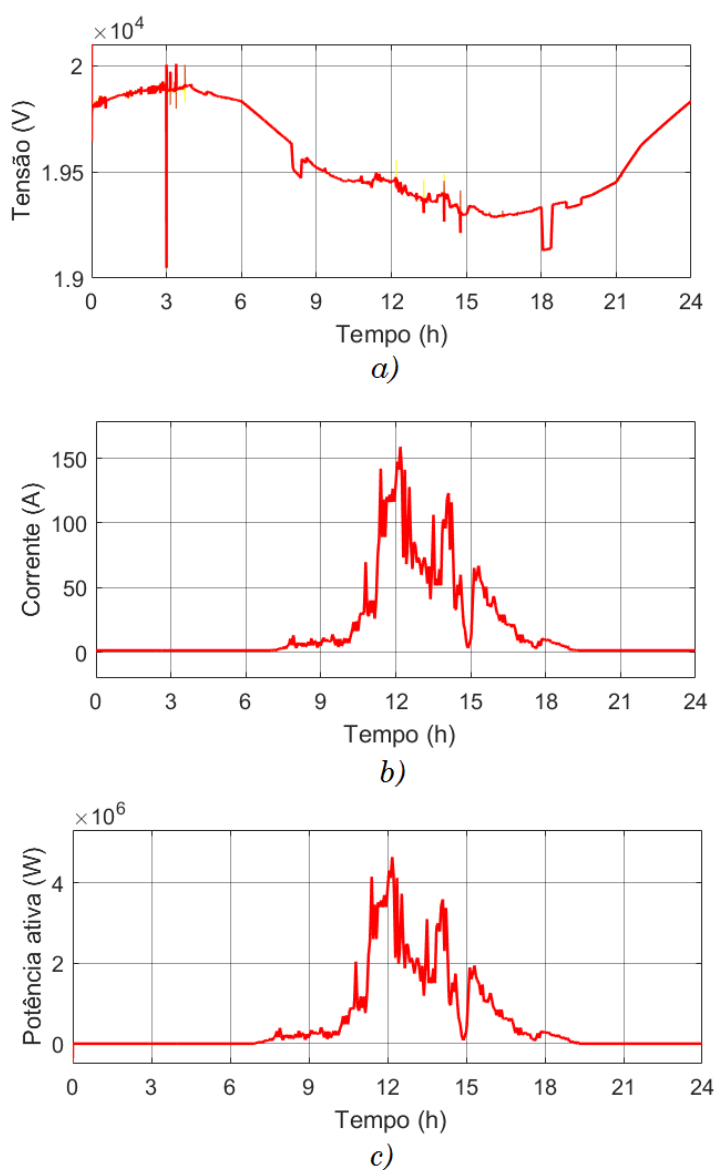


Figura 5.2 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia solar

A corrente, Figura 5.2 b), apresenta-se constante até às 7 horas da manhã onde se começa a verificar um pequeno aumento mais ou menos constante até atingir o seu pico ao meio-dia, com valor de 150 Ampere. A partir das 18h volta a atingir valores semelhantes aos registados das 0 às 7h, e assim se mantém até à meia-noite.

O perfil da potência ativa, Figura 5.2 c), é idêntico ao obtido na Figura 5.2 b). A potência ativa mantém-se constante até às 7 horas da manhã, e a partir desse momento começa a aumentar chegando a ultrapassar ligeiramente os 400 000 Watt ao meio-dia. Decrescendo depois até cerca das 18 horas onde se torna constante, com valores nulos, até às 24 horas.

Analisando agora a Figura 5.3 da tensão, corrente e potência ativa para o consumo residencial, observamos que para este caso, a tensão a), apresenta uma forma de onda idêntica aquela que foi observada na Figura 5.1 e na Figura 5.2, embora com valores diferentes, uma vez que para o consumo residencial a tensão varia entre os 470 e os 440 Volt.

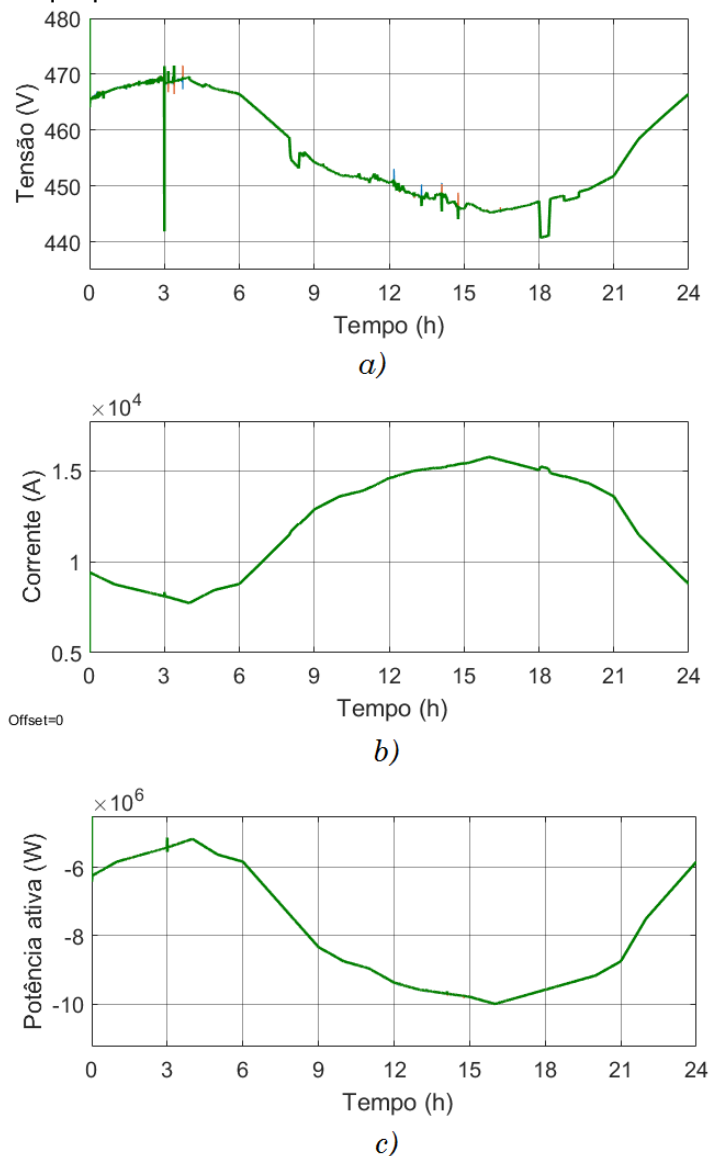


Figura 5.3 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no consumo residencial

Em b) a corrente apresenta-se ligeiramente decrescente entre as 0 horas e as 4 horas, passando dos 10 000 Ampere para cerca de 7 500 Ampere. Após a hora 4 toma uma forma crescente até cerca das 16 horas, onde atinge o seu máximo com pouco mais de 15 000 Ampere. De seguida a corrente torna-se decrescente até à meia-noite onde apresenta ligeiramente menos de 10 000 Ampere.

No caso da potência ativa, Figura 5.3 c) ela é sempre negativa, o que nos indica que está a consumir energia à rede. A forma onda toma uma distribuição simétrica à da corrente b) variando entre os -500 000, atingidos à hora 4 e os -1 000 000 Watt na hora 16h.

Na Figura 5.4 estão representados os resultados do somatório do carregamento dos veículos elétricos. Note-se a entrada dos veículos elétricos para o carregamento no caso dos perfis 1 e 2 no pico das 8 horas observados na Figura 5.4 b) e c) e dos perfis 1 e 3 no pico das 18 horas observados na Figura 5.4 b) e c). O perfil 5 de carregamento de veículos reflete-se no pequeno pico entre as 3 horas e as 6 horas da corrente e da potência ativa da mesma figura.

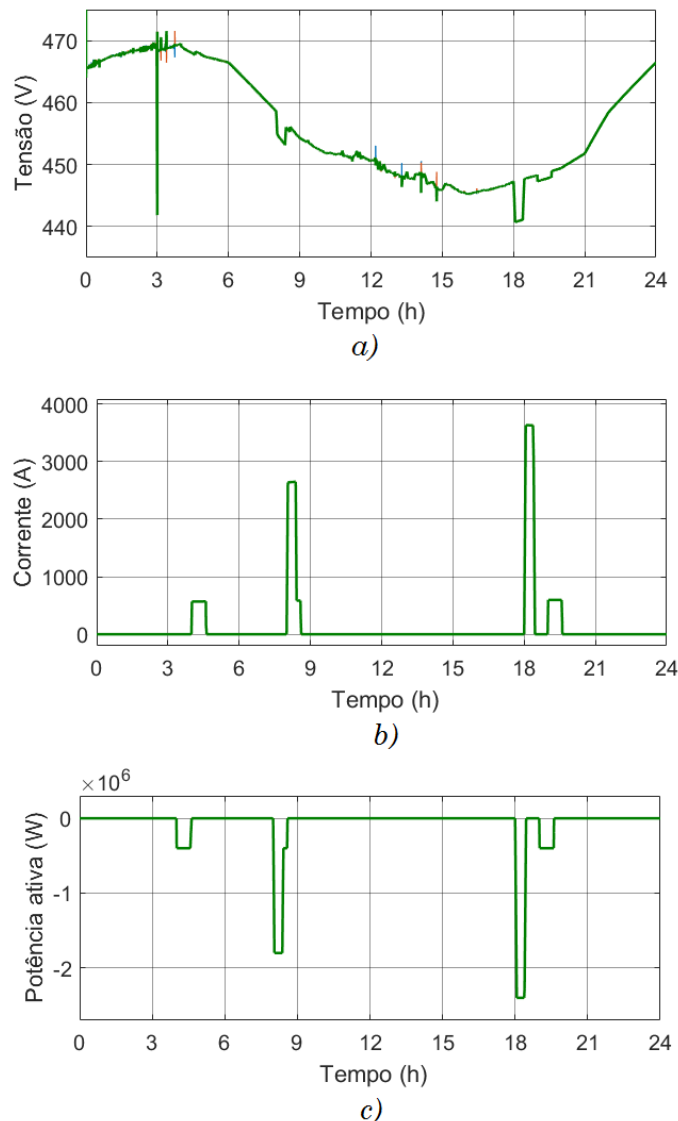


Figura 5.4 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no carregamento dos veículos

Ao observar a Figura 5.4 a) repare-se que aparecem ligeiras descidas de tensão que são sempre coincidentes com o período de carregamento dos veículos elétricos. Veja-se como exemplo a descida de tensão que se verifica às 18 horas.

5.2 - Resultados obtidos para o dia 14 de Julho de 2017

O perfil da tensão a) observado na Figura 5.5 é bastante idêntico aquele que foi obtido na Figura 5.1, para o dia 2 de Fevereiro de 2017 sendo que registamos pequenas variações, na ordem dos 20 volts entre as 0 horas e as 24 horas. A Tensão, decresce cerca de 10 Volt entre as 3 horas e as 21, hora em que se regista um novo aumento. A principal oscilação ocorre à hora 3, no momento em que inicia a máquina assíncrona. De notar também pequenas oscilações entre as 8 e as 9 horas, as 12 horas e as 15 horas, e entre as 18 horas e as 19 horas.

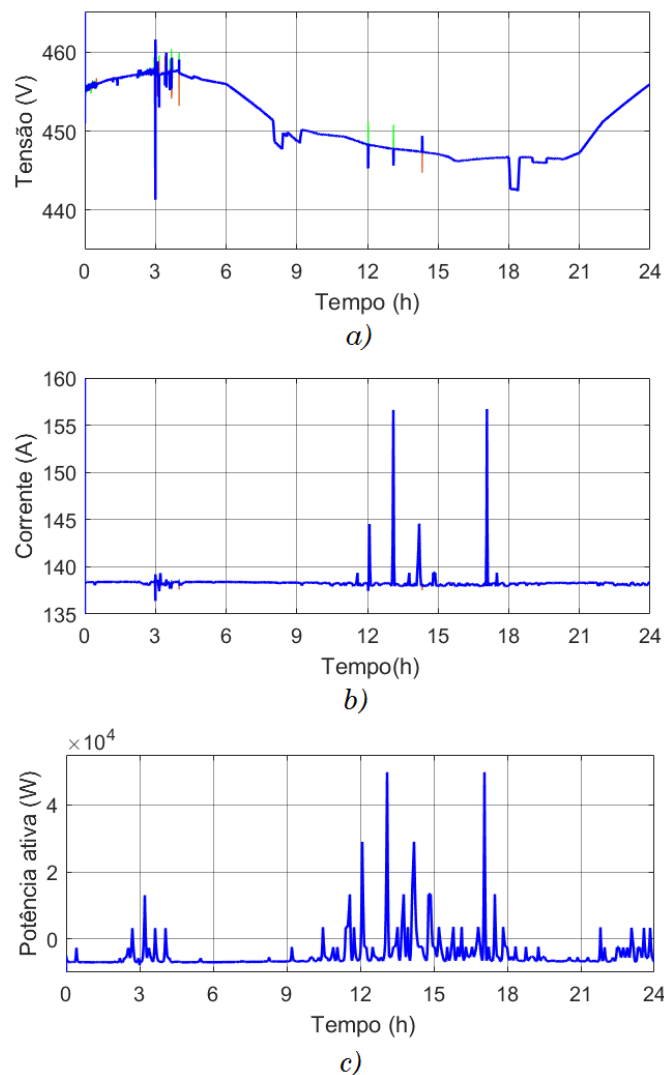


Figura 5.5 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia eólica

Na Figura 5.1 b), a corrente mantém-se mais ou menos constante com valores entre os 138 Ampere e os 140 Ampere, sendo que se registam 2 picos que atingem os 157 Ampere às 13 horas e às 17 horas. E 2 picos menores, que atingem os 145 Ampere às 12 horas e às 14 horas. Sendo então que o período de maior oscilação se regista entre as 12 horas e as 18 horas.

A potência ativa, c), inicia às 0 horas com valores negativos, ligeiramente abaixo de zero, e apresenta oscilações à hora 3 onde chega a atingir os 15000 Watt, apresentando depois várias oscilações entre as 9 horas e as 18 horas, com dois picos às horas 13 e 17, com valor de 50 000 Watt, e outros dois picos que atingem os 30 000 Watt às 12 horas e às 14 horas.

Na Figura 5.6, a corrente b), e a potência ativa c), apresentam uma forma de onda muito mais regular que as obtidas na Figura 5.2, atingido também valores mais elevados, como seria de esperar para um dia de Verão.

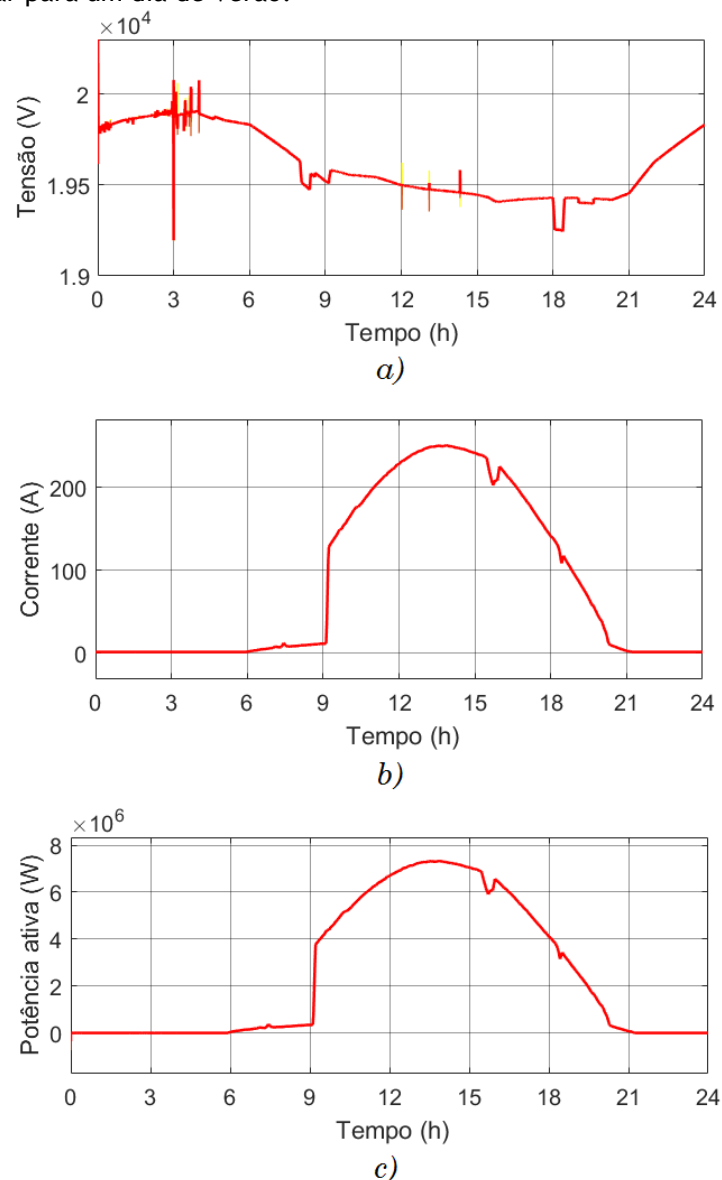


Figura 5.6 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) na produção de energia solar

Em b), a corrente mantém-se mais ou menos constante até às 9 horas da manhã onde apresenta uma subida abrupta para cerca de 120 Ampere, registando-se uma subida em curva que tem o seu ponto máximo entre as 13 e as 14 horas onde atinge cerca de 250 Ampere. Decrescendo depois até às 21 horas onde volta a registar 0 amperes até às 24 horas.

O perfil da potência ativa, Figura 5.6 c) é idêntico ao perfil da corrente Figura 5.6 b), analisado no parágrafo anterior. A potência ativa mantém-se constante com valor nulo até às 6 horas, onde começa a aumentar ligeiramente até às 9 horas, onde se regista uma grande subida até aos 400 000 Watt. Entre as 13 horas e as 14 horas atinge o seu máximo, com 700 000 Watt e a partir das 14 horas decresce até às 21 horas onde se apresenta nula e assim se mantém até à meia-noite.

Na Figura 5.6, a tensão a) varia entre valores de 19 250 Volt e 20 000 Volt. O pico é atingido às 3 horas, no momento em que arranca a máquina assíncrona, e a partir deste momento vai decrescendo, apresentando algumas oscilações até atingir o mínimo, registado às 18 horas.

Na Figura 5.7 visualizamos os perfis da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no consumo residencial.

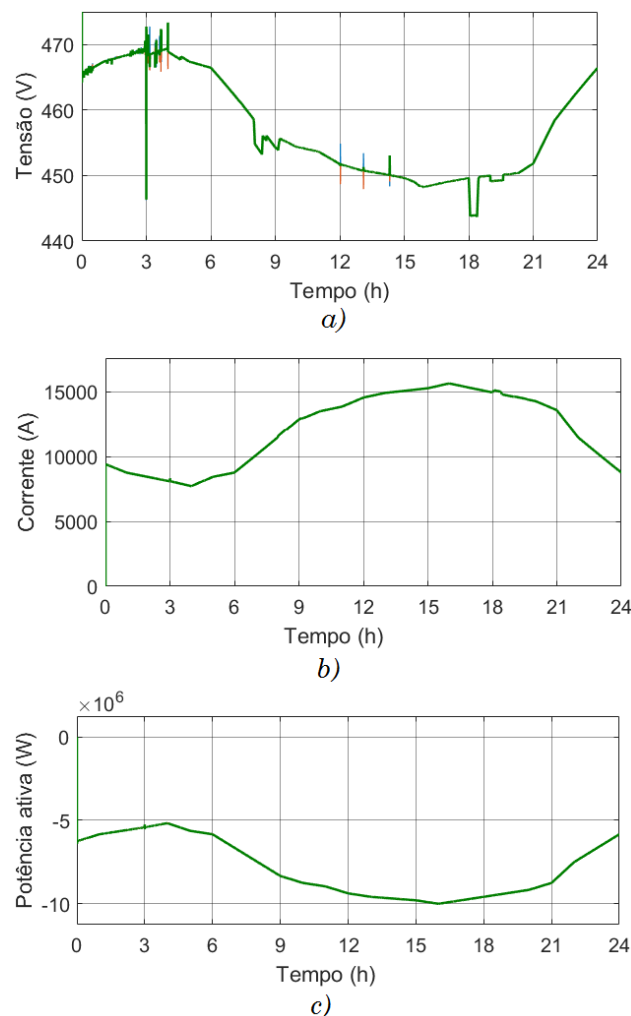


Figura 5.7 Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no consumo residencial

A tensão a) apresenta-se idêntica aos valores registados para o dia 2 de Fevereiro de 2017, variando entre os 445 e os 475 Volt.

Na figura 5.7, a corrente b) e a potência ativa c) apresentam uma certa simetria. Em b), a corrente passa dos 10 000 Ampere na hora 0 para os 7 500 na hora 4. Daí torna-se crescente até às 16 horas, onde ultrapassa ligeiramente os 15 000 Ampere. Das 16 horas às 24 horas verifica-se um decréscimo da corrente. No caso da potência ativa c), esta apresenta-se crescente entre as 0 e as 4 horas, passando dos -6 000 000 Watt para os -5 000 000 Watt. A partir das 4 horas volta a ser decrescente, atingindo um mínimo de 10 000 000 Watt negativos às 16 horas. Volta, depois a ser crescente até à meia-noite acabando nos -6 000 000 Watt.

Os resultados obtidos para o caso de Verão são iguais aos do Inverno no perfil da corrente e da potência ativa visto que o perfil do carregamento dos veículos elétricos e o seu número são iguais nos dois casos. Estes resultados podem ser observados na Figura 5.8.

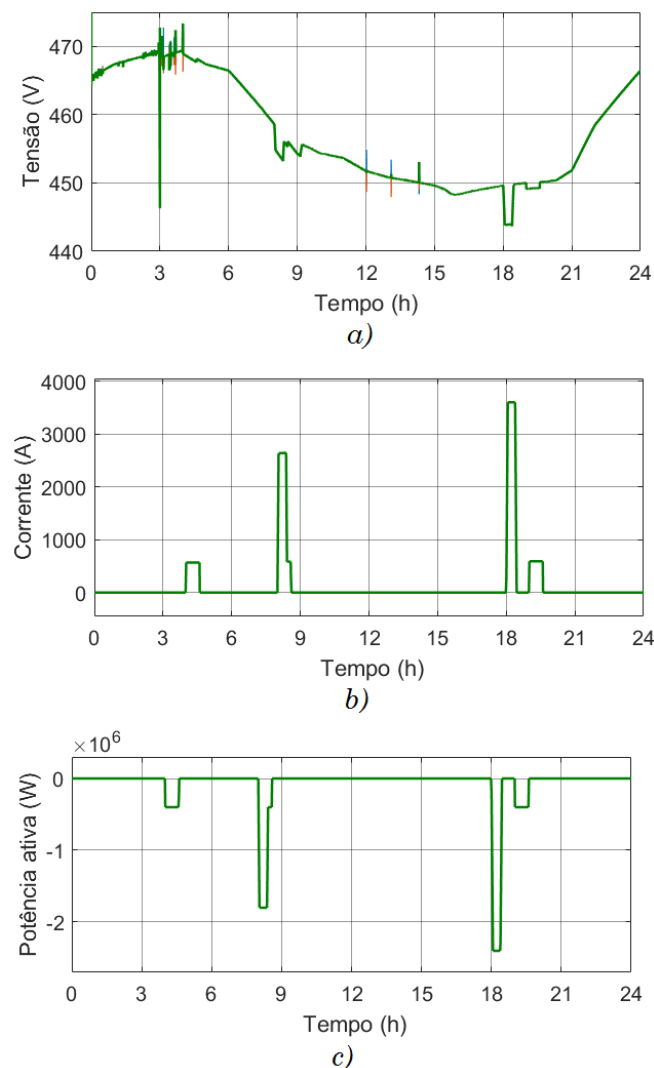


Figura 5.8 - Perfil da tensão a), corrente b) e potência ativa c) no carregamento dos veículos

A única diferença mais visível é no perfil da tensão observado na figura 5.8 a). Observe-se que a tensão entre as 9 horas e as 18 horas é mais estável devido à menor geração de eólica verificada nestes dias de Verão, quando comparada com o perfil da tensão da figura 5.4 a) onde se verifica uma maior intermitência.

5.3 - Comparação dos resultados

Após a análise de resultados é possível comparar as diferenças entre os resultados obtidos no dia de Inverno e aqueles que foram obtidos no dia de Verão.

Na produção de energia eólica, Figura 5.1 e Figura 5.5, a diferença dos valores da tensão a) é mais evidente nos valores mínimos. No Inverno estes valores decrescem abaixo dos 440 Volt enquanto no Verão o valor mínimo não atinge os 440 Volt. A forma de onda é semelhante, ainda que com maior intermitência no resultado obtido no Inverno. A corrente b) assume valores muito maiores no dia de Inverno em relação com o dia de Verão. No Inverno apresenta uma maior intermitência, ultrapassando, durante o dia, 10 vezes os 500 Ampere, e atingindo os 1200 Ampere por 2 vezes, enquanto que no dia de Verão o seu máximo são os 157 Ampere. Na potência ativa, os valores do dia 2 de Fevereiro também são maiores que os obtidos no dia 14 de Julho de 2017, atingindo valores de 800 000 Watt no dia de Inverno e 50 000 Watt no Verão.

Na produção de energia solar, Figura 5.2 e Figura 5.6, os resultados de Verão atingem valores mais elevados, e uma forma de onda mais constante para os gráficos de corrente b) e potência ativa c). Com uma diferença de 100 Ampere entre os dois dias, no dia 2 de Fevereiro de 2017 o máximo atingido para a corrente b) é de 150 Ampere, enquanto que no dia 14 de Julho de 2017 a corrente b) atinge os 250 Ampere. Na potência ativa são atingidos máximos de 700 000 Watt no dia de Verão e no dia de Inverno os valores máximos atingidos são 400 000 Watt, uma diferença de 300 000 Watt. A nível da tensão a), apesar de se registarem maiores oscilações no dia de Inverno, os perfis obtidos nos dois dias são muito parecidos.

No consumo residencial, Figura 5.3 e Figura 5.7, a tensão a) apresenta variações idênticas nos dois dias com variações de 30 Volts. Atinge um maior valor máximo no dia 14 de Julho de 2017, com 475 Volt, mas um menor valor mínimo no dia 2 de Fevereiro de 2017, com 440 Volt. No caso da corrente, Figura 5.3 b) e Figura 5.7 b), e da potência ativa, Figura 5.3 c) e Figura 5.7 c), os resultados são iguais.

Por fim, vê-se que nos perfis do carregamento dos veículos elétrico, Figuras 5.4 e 5.8, os resultados da corrente b) e da potência ativa c) são iguais visto que estão baseadas no mesmo número de veículos com as mesmas respetivas percentagens. Já na tensão observam-se algumas diferenças, a Figura 5.4 a) apresenta maior intermitência devido a uma maior geração eólica verificada nesse dia de inverno e um menor o valor mínimo, de 441 Volt.

Enquanto que na Figura 5.8 a) observa-se uma menor intermitência durante o período diurno devido a uma menor geração eólica. Observa-se também que o valor mínimo atinge os 445 Volt.

Capítulo 6

Conclusões

No presente capítulo apresentam-se, de um modo sucinto, as principais conclusões retiradas, sempre com base nos resultados obtidos, apresentados e descritos, ao longo desta dissertação. São ainda referidas algumas implicações que se podem tornar em objeto de futuras investigações.

Ressalvo a importância do conhecimento adquirido ao longo dos meus anos enquanto estudante do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnico de Computadores, com um papel fulcral na realização desta dissertação.

6.1 - Conclusões

Conscientes da crescente urbanização e das suas implicações para o meio ambiente, a comunidade científica, tal como descrito no Capítulo 2 da presente dissertação, procurou desenvolver estratégias que potencializasse os recursos disponíveis. Ao mesmo tempo, tornou-se imperativo que se estudassem e desenvolvessem recursos que diminuíssem o impacto negativo no ambiente que se tem feito sentir através das alterações climáticas, com o aumento dos GEE. Deste modo, surgiu o conceito *smart cities*, uma ideia promissora, em que se pretende realizar a transição para um futuro mais sustentável, tanto a nível ambiental, como social e económico, a fim de promover a qualidade de vida dos seus cidadãos.

Dentro das *smart cities* é destacado nesta dissertação a importância e papel dos veículos elétricos e a integração dos mesmos na rede.

Antes demais, é importante compreender que as cidades não são iguais umas às outras e que cada uma terá as suas características e particularidades sendo necessário

desenvolver estudos individualizados de cada cidade para, deste modo, determinar qual o ponto da situação e de que modo se poderá potenciar os recursos da cidade implicada.

A cidade do Porto tem-se esforçado nos últimos anos para se desenvolver enquanto cidade inteligente, traduzindo-se em alguns projetos a decorrer, por parte da Câmara Municipal do Porto, características descritas no capítulo 2 da presente dissertação. Com o intuito de melhor compreender o aspeto que uma *smart grid* poderá ter num futuro próximo, como um elemento de uma *smart city*, a presente dissertação pretendeu realizar simulações com o objetivo de compreender e demonstrar o comportamento que o modelo teria face as condições de vento e radiação solar, na cidade do Porto. Deste modo, realizaram-se duas simulações para diferentes dias do ano escolhidos para as estações de Inverno, 2 de Fevereiro de 2017 e Verão, 14 de Julho de 2017. A finalidade de obter um contraste nas condições meteorológicas, típicas dessas datas, foi estudar que influência isso acarretaria na produção de energia elétrica através da produção eólica e da produção solar.

Observar o comportamento do modelo às condições de vento e radiação solar na cidade do Porto foi o principal objetivo deste trabalho. As simulações foram feitas com o intuito de compreender melhor o aspeto que uma *smart grid* poderá ter num futuro próximo, como um elemento de uma *smart city*.

Foram realizadas duas simulações para diferentes dias do ano escolhidos para as estações de Inverno, 2 de Fevereiro de 2017 e Verão, 14 de Julho de 2017, na cidade do Porto. A finalidade de obter um contraste nas condições meteorológicas, típicas dessas datas, foi a influência que isso acarreta na produção de energia elétrica através da produção eólica e da produção solar.

Através do modelo simulado foi possível uma análise ao impacto das diferentes condições climáticas numa micro-rede com geração solar e eólica com tecnologia V2G integrada, ao nível do consumo residencial, carregamento dos veículos, produção eólica e produção solar.

Os resultados indicam que a corrente e a potência ativa são iguais tanto no Inverno como no Verão nos perfis do carregamento dos veículos elétricos visto que estão baseadas no mesmo número de veículos e com as mesmas respetivas percentagens. Mas quando a tensão dos dois dias estudados é comparada observam-se algumas diferenças. A tensão apresenta maior intermitência devido a uma maior geração eólica verificada em Fevereiro enquanto que no Verão observa-se uma menor intermitência durante o período diurno devido a uma menor geração eólica. A geração solar tem um impacto quase irrisório na micro-rede devido à sua eficiência ser 10% no modelo estudado, apesar de ser bastante maior no Verão.

Com uma evolução para um sistema inteligente em Portugal, representado pelas *smart cities*, livres de emissões de gases poluentes com recurso à utilização de energias renováveis, os veículos elétricos, através da sua tecnologia V2G terão um papel importante no auxílio da regulação e estabilização da rede elétrica.

Ainda há muito trabalho a ser feito em Portugal para vencer os desafios da mobilidade elétrica. Temos no nosso país, boas condições para um consumo sustentável, boa

produção eólica no Inverno e boa produção solar no Verão. Se forem criadas as devidas condições iremos assistir a uma condução sustentável em Portugal, num futuro não muito distante.

6.2 - Trabalhos Futuros

Finda a realização deste trabalho fica o sentimento de que mais é preciso ser feito. Há inúmeros fatores que podem ter diferentes impactos na rede. A tecnologia inova rapidamente tornando necessário a continuação deste tipo de estudos para acompanhar todas as alterações que vão sendo inseridas na rede.

Sugerem-se, então, trabalhos futuros que serão pertinentes para aprofundar o conhecimento sobre o comportamento que as smart grids possivelmente vão apresentar no futuro:

- Comparar os resultados obtidos na presente dissertação com um modelo com as mesmas condições meteorológicas, mas sem a tecnologia V2G (Vehicle-to-Grid), ou seja, sem a possibilidade de injeção de energia na rede por parte do veículo.
- Para além da produção eólica e solar, adicionar ao atual modelo uma pequena central de biomassa como mais uma fonte adicional de energia renovável.
- Realizar o mesmo estudo mas sem qualquer fonte de energia renovável. Deste modo observar o efeito que terá a tecnologia V2G na produção termoelétrica.
- Substituir a eficiência de 10%, aplicada nos painéis solares para este estudo, pela eficiência à presente nos painéis fotovoltaicos mais recentes, 24%.

Referências

- [1] Dr. Fatih BİROL, «World Energy Outlook», Nov. 2011.
- [2] «CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights 2017». .
- [3] S. Zygiaris, «Smart City Reference Model: Assisting Planners to Conceptualize the Building of Smart City Innovation Ecosystems», *J. Knowl. Econ.*, vol. 4, n. 2, pp. 217-231, Jun. 2013.
- [4] M. Angelidou, *Smart cities: A conjuncture of four forces*, vol. 47. 2015.
- [5] J. C. N. de Freitas, «Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos», 2012.
- [6] H. L. Chan, «A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems», em *2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37077)*, 2000, vol. 1, pp. 470-475 vol.1.
- [7] G. Li e X. P. Zhang, «Modeling of Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Demand in Probabilistic Power Flow Calculations», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, n. 1, pp. 492-499, Mar. 2012.
- [8] V. Viegas, U. M. Azeiteiro, J. A. Dias, e F. Alves, «Alterações Climáticas, Perceções e Racionalidades», *Rev. Gest. Costeira Integrada - J. Integr. Coast. Zone Manag.*, vol. 14, n. 3, pp. 347-363, 2014.
- [9] L. Treut *et al.*, *Historical Overview of Climate Change Science*, vol. 1. 2007.
- [10] J. W. Akitt, «Some observations on the greenhouse effect at the Earth's surface», *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 188, pp. 127-134, Jan. 2018.
- [11] «DGTerritório - Série Temática Política de Cidades». [Em linha]. Disponível em: http://www.dgterritorio.pt/ordenamento_e_cidades/cidades/publicacoes/serie_tematica_politica_de_cidades/. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [12] «Greenhouse gas concentrations surge to new record», *World Meteorological Organization*, 27-Out-2017. [Em linha]. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-surge-new-record>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [13] F. D. Santos, «Os desafios ambientais criados pela grande aceleração do pós-guerra», *Nação E Def.*, 2009.
- [14] C. Rosenzweig, W. Solecki, S. A. Hammer, e S. Mehrotra, «Cities lead the way in climate-change action», *Nature*, 20-Out-2010. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/467909a>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [15] I. P. on C. Change, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2014.
- [16] P. J. Landrigan *et al.*, «The Lancet Commission on pollution and health», *The Lancet*, vol. 0, n. 0, Out. 2017.
- [17] K. C. Seto *et al.*, «Chapter 12 - Human settlements, infrastructure and spatial planning», em *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. IPCC Working Group III Contribution to AR5*, Cambridge University Press, 2014.
- [18] «EUR-Lex - 52016SC0419 - EN - EUR-Lex». [Em linha]. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52016SC0419>. [Acedido: 08-Jan-2018].

- [19] E. Nehrenheim, «Introduction to Renewable Energy», em *Encyclopedia of the Anthropocene*, D. A. Dellasala e M. I. Goldstein, Eds. Oxford: Elsevier, 2018, pp. 405-406.
- [20] I. G. Simmons, «Environmental Change and Energy», em *Encyclopedia of the Anthropocene*, D. A. Dellasala e M. I. Goldstein, Eds. Oxford: Elsevier, 2018, pp. 431-439.
- [21] G. Ren, J. Liu, J. Wan, Y. Guo, e D. Yu, «Overview of wind power intermittency: Impacts, measurements, and mitigation solutions», *Appl. Energy*, vol. 204, pp. 47-65, Out. 2017.
- [22] W. Antweiler, «A two-part feed-in-tariff for intermittent electricity generation», *Energy Econ.*, vol. 65, pp. 458-470, Jun. 2017.
- [23] D. Newbery, «Shifting demand and supply over time and space to manage intermittent generation: The economics of electrical storage», *Energy Policy*, vol. 113, pp. 711-720, Fev. 2018.
- [24] Q. Tabart, I. Vechiu, A. Etxeberria, e S. Bacha, «Hybrid Energy Storage System Microgrids Integration for Power Quality Improvement Using Four-Leg Three-Level NPC Inverter and Second-Order Sliding Mode Control», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, n. 1, pp. 424-435, Jan. 2018.
- [25] A. Giannitrapani, S. Paoletti, A. Vicino, e D. Zarrilli, «Optimal Allocation of Energy Storage Systems for Voltage Control in LV Distribution Networks», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, n. 6, pp. 2859-2870, Nov. 2017.
- [26] B. K. Lee, J. P. Kim, S. G. Kim, e J. Y. Lee, «An Isolated/Bidirectional PWM Resonant Converter for V2G(H) EV On-Board Charger», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, n. 9, pp. 7741-7750, Set. 2017.
- [27] «How renewable energy advocates are hurting the climate cause», *Ensia*. .
- [28] «REN Dados Técnicos 2016.pdf». .
- [29] «RelatorioEstadoAmbiente2017.pdf». .
- [30] «DGE 2007». [Em linha]. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/paginaRegisto.aspx?back=1&id=16130>. [Acedido: 09-Jan-2018].
- [31] M. F. Akorede, H. Hizam, e E. Pouresmaeil, «Distributed energy resources and benefits to the environment», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, n. 2, pp. 724-734, Fev. 2010.
- [32] S. Lei, Y. Hou, F. Qiu, e J. Yan, «Identification of Critical Switches for Integrating Renewable Distributed Generation by Dynamic Network Reconfiguration», *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 9, n. 1, pp. 420-432, Jan. 2018.
- [33] B. Singh e J. Sharma, «A review on distributed generation planning», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 529-544, Set. 2017.
- [34] «A Energia Eólica em Portugal - 2012.pdf». .
- [35] «APREN - O que são». [Em linha]. Disponível em: <http://apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [36] «gwec-08-update_FINAL.pdf». .
- [37] «Energia Eólica :: Energias Renováveis». [Em linha]. Disponível em: <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-eolica/>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [38] H. M. Abdel-Rahman e A. Anas, «Chapter 52 - Theories of Systems of Cities», em *Handbook of Regional and Urban Economics*, vol. 4, J. V. Henderson e J.-F. Thisse, Eds. Elsevier, 2004, pp. 2293-2339.
- [39] S. A. Hasshim, A. A. Rahman, M. M. Khalid, e A. M. Samad, «Urban development pressure towards challenges in ensuring sustainable tourism development», em *2015 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 2015, pp. 574-579.
- [40] J. Bindé, «Cities and environment in the twenty-first century: A future-oriented synthesis after Habitat II» An earlier version of this paper was delivered at the International Conference on 'The Environment in the Twenty-First Century: Environment, Long-term Governance and Democracy', (Fontevraud, France, 8-11 September 1996). The opinions expressed by the author are his and do not necessarily reflect those of UNESCO or the United Nations.1», *Futures*, vol. 30, n. 6, pp. 499-518, Ago. 1998.
- [41] T. Nam e T. Pardo, *Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions*. 2011.

- [42] R. Susanti, S. Soetomo, I. Buchori, e P. M. Brotosunaryo, «Smart Growth, Smart City and Density: In Search of The Appropriate Indicator for Residential Density in Indonesia», *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 227, n. Supplement C, pp. 194-201, Jul. 2016.
- [43] L. Anthopoulos, «Smart utopia VS smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases», *Cities*, vol. 63, pp. 128-148, Mar. 2017.
- [44] E. Paffumi, M. De Gennaro, e G. Martini, «Innovative Technologies for Smart Cities: Towards Customer Driven Infrastructure Design for Large Scale Deployment of Electric Vehicles and Vehicle-to-Grid Applications», *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, n. Supplement C, pp. 4505-4514, Jan. 2016.
- [45] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Milanović, e E. Meijers, *Smart cities - Ranking of European medium-sized cities*. 2007.
- [46] S. Ben Letaifa, «How to strategize smart cities: Revealing the SMART model», *J. Bus. Res.*, vol. 68, n. 7, pp. 1414-1419, Jul. 2015.
- [47] Antonio Bernardo *et al.*, «Think : Act; navigating complexity», Mar. 2017.
- [48] «Porto», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 14-Jan-2018.
- [49] «Portal do Instituto Nacional de Estatística». [Em linha]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_unid_territorial&menuBOUI=1%E2%80%A6&xlang=pt. [Acedido: 15-Jan-2018].
- [50] «Future Cities » An Ecosystem for Future Smarter Cities». [Em linha]. Disponível em: <https://futurecities.up.pt/site/>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [51] «Porto “case study” nas smart cities - Notícias - Portal de notícias do Porto. Ponto.» [Em linha]. Disponível em: <http://www.porto.pt/noticias/porto-cidade-com-tecnologia-de-ponto>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [52] «Sibrandus Stratingh (1785-1841) | Prominent Professors | History | University Museum | Public outreach | Society/Business | University of Groningen». [Em linha]. Disponível em: <https://www.rug.nl/society-business/university-museum/prominent-professors/stratingh>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [53] M. Bellis, «Wait, There Were Electric Cars Between 1830 and 1930?», *ThoughtCo*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [54] «History of Electric Cars». [Em linha]. Disponível em: <http://www.edisontechcenter.org/ElectricCars.html>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [55] «The History of the Electric Car», *Energy.gov*. [Em linha]. Disponível em: <https://energy.gov/articles/history-electric-car>. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [56] C. C. Chan, «The Rise amp; Fall of Electric Vehicles in 1828 #x2013;1930: Lessons Learned [Scanning Our Past]», *Proc. IEEE*, vol. 101, n. 1, pp. 206-212, Jan. 2013.
- [57] «History Electric Vehicles News History of Electric Vehicles». [Em linha]. Disponível em: <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>. [Acedido: 14-Jan-2018].
- [58] A. Beaudet, «Competing Pathways for the Decarbonisation of Road Transport: A Comparative Analysis of Electric and Hydrogen Vehicles», Social Science Research Network, Rochester, NY, SSRN Scholarly Paper ID 1707426, Jul. 2010.
- [59] H. El-Sayed e G. Thandavarayan, «Congestion Detection and Propagation in Urban Areas Using Histogram Models», *IEEE Internet Things J.*, vol. PP, n. 99, pp. 1-1, 2017.
- [60] S. A. C. S. Jayasooriya e Y. M. M. S. Bandara, «Measuring the Economic costs of traffic congestion», em *2017 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, 2017, pp. 141-146.
- [61] A. Pagani, F. Bruschi, e V. Rana, «Knowledge Discovery from car sharing data for traffic flows estimation», em *2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)*, 2017, pp. 1-6.
- [62] T. Benarbia, A. Omari, B. Aour, K. Labadi, e S. Hamaci, «Electric cars-sharing systems modeling and analysis», em *2017 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, 2017, pp. 030-035.
- [63] «gx_us_auto_DTTGlobalAutoSurvey_ElectricVehicles_100411.pdf». .
- [64] Uta Deffke, «Electric Mobility - Rethinking the car», *Fed. Minist. Educ. Res. BMBF*, Mai. 2013.
- [65] Byrne Cristóvão e Pedro Paulo, «Vencer o desafio da mobilidade elétrica em Portugal», *Plataforma Para O Crescimento Sustentável*, 2016.

- [66] A. Ajanovic, «The future of electric vehicles: prospects and impediments», *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.*, vol. 4, n. 6, pp. 521-536, Nov. 2015.
- [67] R. Medeiros, S. Valtchev, e S. Valtchev, «The Efficient and Stable Charging of Electric Vehicle Batteries: Simplified Instantaneous Regulation», em *Technological Innovation for Value Creation*, 2012, pp. 363-374.
- [68] *FY2014 Energy Storage R&D Annual Progress Report*. Washington, D.C. : United States. Office of the Assistant Secretary of Energy Efficiency and Renewable Energy ;, 2015.
- [69] A. Ajanovic, «Promoting Environmentally Benign Electric Vehicles», *Energy Procedia*, vol. 57, n. Supplement C, pp. 807-816, Jan. 2014.
- [70] «IPOL-ITRE_NT(2010)440276_EN.pdf». .
- [71] «Carregamento - Nissan LEAF - Carro elétrico», *Nissan*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/carregamento.html>. [Acedido: 07-Jan-2018].
- [72] «Model S | Tesla». [Em linha]. Disponível em: https://www.tesla.com/pt_PT/models. [Acedido: 07-Jan-2018].
- [73] R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, e J. P. S. Catalão, «Smart electric vehicle charging scheduler for overloading prevention of an industry client power distribution transformer», *Appl. Energy*, vol. 178, pp. 29-42, Set. 2016.
- [74] A. Yoshino, «1 - Development of the Lithium-Ion Battery and Recent Technological Trends», em *Lithium-Ion Batteries*, G. Pistoia, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2014, pp. 1-20.
- [75] «Metal recyclers prepare for electric car revolution», *Reuters*, 17-Nov-2017.
- [76] A. Saez-de-Ibarra, E. Martinez-Laserna, D. I. Stroe, M. Swierczynski, e P. Rodriguez, «Sizing Study of Second Life Li-ion Batteries for Enhancing Renewable Energy Grid Integration», *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, n. 6, pp. 4999-5008, Nov. 2016.
- [77] P. Cicconi, D. Landi, e M. Germani, «Thermal analysis and simulation of a Li-ion battery pack for a lightweight commercial EV», *Appl. Energy*, vol. 192, pp. 159-177, Abr. 2017.
- [78] P. Cicconi, M. Germani, D. Landi, e M. Mengarelli, «Virtual Prototyping Approach to Evaluate the Thermal Management of Li-Ion Batteries», em *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2014, pp. 1-6.
- [79] «European smart grid prospects, policies, and challenges - ScienceDirect». [Em linha]. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116305020?via%3Dihub>. [Acedido: 11-Jan-2018].
- [80] I. Colak, G. Fulli, S. Sagiroglu, M. Yesilbudak, e C.-F. Covrig, «Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios», *Appl. Energy*, vol. 152, pp. 58-70, Ago. 2015.
- [81] N. Sujitha e S. Krithiga, «RES based EV battery charging system: A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, pp. 978-988, Ago. 2017.
- [82] A. Ovalle, A. Hably, S. Bacha, G. Ramos, e J. M. Hossain, «Escort Evolutionary Game Dynamics Approach for Integral Load Management of Electric Vehicle Fleets», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, n. 2, pp. 1358-1369, Fev. 2017.
- [83] A. Muharam, M. Pratama, K. Ismail, S. Kaleg, M. R. Kurnia, e A. Hapid, «A development of smart metering infrastructure for Electric Vehicle charging point», em *2016 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)*, 2016, pp. 27-33.
- [84] A. Ajanovic e R. Haas, *Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success*, vol. 115. 2016.
- [85] R. Godina, E. M. G. Rodrigues, N. G. Paterakis, O. Erdinc, e J. P. S. Catalão, «Innovative impact assessment of electric vehicles charging loads on distribution transformers using real data», *Energy Convers. Manag.*, vol. 120, pp. 206-216, Jul. 2016.
- [86] G. Y. Choe, J. S. Kim, B. K. Lee, C.-Y. Won, e T.-W. Lee, «A Bi-directional battery charger for electric vehicles using photovoltaic PCS systems», em *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1-6.
- [87] B. E. Noriega, R. T. Pinto, e P. Bauer, «Sustainable DC-microgrid control system for electric-vehicle charging stations», em *2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, 2013, pp. 1-10.

- [88] C. Hamilton *et al.*, «System architecture of a modular direct-DC PV charging station for plug-in electric vehicles», em *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2010, pp. 2516-2520.
- [89] S. Rajakaruna, F. Shahnia, e A. Ghosh, *Plug In Electric Vehicles in Smart Grids: Charging Strategies*. Springer, 2014.
- [90] D. P. Birnie, «Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future», *J. Power Sources*, vol. 186, n. 2, pp. 539-542, Jan. 2009.
- [91] P. Nunes, T. Farias, e M. C. Brito, «Day charging electric vehicles with excess solar electricity for a sustainable energy system», *Energy*, vol. 80, n. Supplement C, pp. 263-274, Fev. 2015.
- [92] M. van der Kam e W. van Sark, «Smart charging of electric vehicles with photovoltaic power and vehicle-to-grid technology in a microgrid; a case study», *Appl. Energy*, vol. 152, n. Supplement C, pp. 20-30, Ago. 2015.
- [93] S. Mesentean, W. Feucht, H. G. Kula, e H. Frank, «Smart charging of electric scooters for home to work and home to education transports from grid connected photovoltaic-systems», em *2010 IEEE International Energy Conference*, 2010, pp. 73-78.
- [94] Y. Gurkaynak e A. Khaligh, «Control and Power Management of a Grid Connected Residential Photovoltaic System with Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) Load», em *2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2009, pp. 2086-2091.
- [95] «MOBI.E». [Em linha]. Disponível em: <https://www.mobie.pt/>. [Acedido: 07-Jan-2018].
- [96] J. Murray, «Electric vehicle charge points to outnumber petrol stations by 2020, say Nissan», *The Guardian*, 04-Ago-2016.
- [97] H. N. T. Nguyen, C. Zhang, e M. A. Mahmud, «Optimal Coordination of G2V and V2G to Support Power Grids With High Penetration of Renewable Energy», *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 1, n. 2, pp. 188-195, Ago. 2015.
- [98] N. G. Paterakis, I. N. Pappi, O. Erdinç, R. Godina, E. M. G. Rodrigues, e J. P. S. Catalão, «Consideration of the Impacts of a Smart Neighborhood Load on Transformer Aging», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n. 6, pp. 2793-2802, Nov. 2016.
- [99] D. T. Hoang, P. Wang, D. Niyato, e E. Hossain, «Charging and Discharging of Plug-In Electric Vehicles (PEVs) in Vehicle-to-Grid (V2G) Systems: A Cyber Insurance-Based Model», *IEEE Access*, vol. 5, pp. 732-754, 2017.
- [100] «Vehicle-to-Grid», *Cenex*, 31-Jan-2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.cenex.co.uk/vehicle-to-grid/>. [Acedido: 08-Jan-2018].
- [101] R. Godina, N. G. Paterakis, O. Erdinç, E. M. G. Rodrigues, e J. P. S. Catalão, «Electric vehicles home charging impact on a distribution transformer in a Portuguese Island», em *2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)*, 2015, pp. 74-79.
- [102] R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, e J. P. S. Catalão, «EV charging scheduler for overloading prevention of a distribution transformer supplying a factory», em *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2016, pp. 1-6.
- [103] K. N. Kumar, B. Sivaneasan, K. T. Tan, J. S. Ren, e P. L. So, «Chapter 9 - Electric Vehicles as Energy Storage: V2G Capacity Estimation*», em *Energy Storage for Smart Grids*, P. Du e N. Lu, Eds. Boston: Academic Press, 2015, pp. 249-275.
- [104] E. Karfopoulos e N. Hatziaargyriou, «Distributed coordination of electric vehicles for conforming to an energy schedule», *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 151, pp. 86-95, Out. 2017.
- [105] X. Lin, J. Sun, S. Ai, X. Xiong, Y. Wan, e D. Yang, «Distribution network planning integrating charging stations of electric vehicle with V2G», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 507-512, Dez. 2014.
- [106] M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi, e D. Sutanto, «Effective Utilization of Available PEV Battery Capacity for Mitigation of Solar PV Impact and Grid Support With Integrated V2G Functionality», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n. 3, pp. 1562-1571, Mai. 2016.
- [107] S. Falahati, S. A. Taher, e M. Shahidehpour, «A new smart charging method for EVs for frequency control of smart grid», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 83, pp. 458-469, Dez. 2016.

- [108] R. Godina, E. M. G. Rodrigues, J. C. O. Matias, e J. P. S. Catalão, «Effect of Loads and Other Key Factors on Oil-Transformer Ageing: Sustainability Benefits and Challenges», *Energies*, vol. 8, n. 10, pp. 12147-12186, Out. 2015.
- [109] R. Godina, N. G. Paterakis, O. Erdiñç, E. M. G. Rodrigues, e J. P. S. Catalão, «Impact of EV charging-at-work on an industrial client distribution transformer in a Portuguese Island», em *2015 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 2015, pp. 1-6.
- [110] D. M. Soto, S. Balathandayuthapani, e C. S. Edrington, «Mitigation of PHEV charging impact on transformers via a PV-APF harmonic compensation technique: Application to V2G integration», em *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011, pp. 1-5.
- [111] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, e P. M. R. Almeida, «Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System», *Proc. IEEE*, vol. 99, n. 1, pp. 168-183, Jan. 2011.
- [112] «What's stopping the EV revolution? | Electric vehicle survey results | OVO Energy». [Em linha]. Disponível em: <https://www.ovoenergy.com/blog/ovo-news/whats-stopping-the-electric-vehicle-revolution.html>. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [113] «Google Trends», *Google Trends*. [Em linha]. Disponível em: [/trends/explore](https://trends.google.com/trends/explore). [Acedido: 11-Jan-2018].
- [114] Anonymous, «Reducing CO2 emissions from passenger cars», *Climate Action - European Commission*, 23-Nov-2016. [Em linha]. Disponível em: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [115] «The Paris Agreement - main page». [Em linha]. Disponível em: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. [Acedido: 18-Jan-2018].
- [116] «24-hour Simulation of a Vehicle-to-Grid (V2G) System - MATLAB & Simulink». [Em linha]. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/24-hour-simulation-of-a-vehicle-to-grid-v2g-system.html>. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [117] «SMPC Weather | Personal Weather Station: IPORTOPO9 by Wunderground.com | Weather Underground», 14-Jul-2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IPORTOPO9#history/s20170714/e20170714/mdaily>. [Acedido: 06-Jan-2018].
- [118] «SMPC Weather | Personal Weather Station: IPORTOPO9 by Wunderground.com | Weather Underground», 02-Fev-2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wunderground.com/personal-weather-station/dashboard?ID=IPORTOPO9#history/tdata/s20170202/e20170202/mdaily>. [Acedido: 06-Jan-2018].